DOI: 10.17117/na.2016.04.03.169

Поступила (Received): 03.04.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.04.03.169.pdf>

Рогова О.В., Михайлова О.Е., Аксютин В.А. **Линейный электромагнитный двигатель с активной** **зубцово-пазовой зоной для вибропривода компрессора**

Rogova O.V., Mikhailova O.E., Aksyutin V.A.
A linear electromagnetic motor with a tooth
area to drive the compressor

Приводятся результаты исследования линейного электромагнитного двигателя с зубчатой структурой силовых элементов магнитопровода. Дана количественная оценка характера изменения результирующей производной магнитной проводимости и ее отдельных составляющих полученная с помощью численного моделирования магнитного поля

Ключевые слова: линейный электромагнитный двигатель, магнитная проводимость

Рогова Ольга Валерьевна

Ассистент

Новосибирский государственный технический университет

г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Михайлова Оксана Евгеньевна

Студент

Новосибирский государственный технический университет

г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Аксютин Валерий Аркадьевич

Кандидат технических наук, доцент

Новосибирский государственный технический университет

г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

The results of the study of the linear electromagnetic motor with gear structure of power elements of the magnetic circuit. A quantitative evaluation of the nature of the resulting changes in the derivative of the magnetic conductivity and its individual components obtained by the numerical simulation of the magnetic field

Key words: linear electromagnetic motor, magnetic conductivity

Rogova Olga Valeryevna

Assistant

Novosibirsk state technical university

Novosibirsk, Karl Marx ave., 20

Mikhailova Oksana Evgenievna

Student

Novosibirsk state technical university

Novosibirsk, Karl Marx ave., 20

Aksyutin Valery Arkadievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Novosibirsk state technical university

Novosibirsk, Karl Marx ave., 20

Линейные электромагнитные двигатели (ЛЭМД) применяются в промышленности для многих технологических процессов и производств [1–3].

Результаты исследований ЛЭМД вибрационного и ударного принципа действия показывают, что в отдельных случаях они обладают относительно высокими силовыми и энергетическими показателями [4–9].

Подходы для расчета и проектирования ЛЭМД по-прежнему востребованы и продолжают совершенствоваться. Это относится как к статическим, так и к динамическим методам расчета и проектирования [10–12].

Повышение удельных силовых и энергетических показателей, снижение веса и габаритов, потребляемой энергии также остаются актуальными вопросами в исследованиях ЛЭМД различного принципа действия [13–18].

Работа посвящена исследованию ЛЭМД с активной зубцово-пазовой зоной [19–22]. Наличие в ЛЭМД зубцово-пазовой зоны (рис. 1) позволяет осуществлять точное позиционирование якоря без механической фиксации его конечного положения и применения для этого сложных схем управления.

Рис. 1. ЛЭМД с активной зубцово-пазовой зоной

Проектирование подобных ЛЭМД затруднено нелинейностью свойств используемых магнитных материалов и сложной пространственной геометрией распределением магнитного поля в активной зубцово-пазовой зоне.

Точный аналитический расчет магнитного поля в активном объеме, в связи со сложной геометрией магнитной цепи в зоне энергопреобразования практически не реализуем. Строгое решение этой задачи возможно только при тщательном анализе распределения магнитного поля.

Полагая, что основное энергопреобразование происходит в зубцово-пазовой зоне, то от точности получаемых значений производной магнитной проводимости воздушных зазоров будет зависеть точность получаемых значений статической тяговой характеристики ЛЭМД [23, 24].

На основании выполненных ранее исследований для повышения точности аналитического расчета магнитной проводимости воздушных зазоров зубцово-пазовой зоны ЛЭМД было предложено применять поправочные коэффициенты к основной составляющей магнитной проводимости, определяемой геометрической фигурой в виде призмы [25]. Это обусловлено тем, что наибольшая доля в суммарном значении магнитной проводимости приходится на данную фигуру. Однако при определении производной магнитной проводимости доли составляющих магнитной проводимости в ее суммарном значении могут существенно меняться.

Для количественной оценки и определения характера изменения результирующей производной магнитной проводимости и ее отдельных составляющих (рис. 1) был выполнен численный эксперимент. Моделирование осуществлялось в программном пакете FEMM для следующих геометрических соотношений

зубцово-пазовой зоны: $\dot{a}/b = 1$, $l_1/\dot{a} = 11$, $\tilde{n}/\dot{a} = 1,5$, где a – ширина зубца, b – высота зубца, c – межзубцовое расстояние, l_1 – длина зубца, Δ – воздушный технологический зазор.

Исследование проводилось в несколько этапов для диапазона значений индукции в стали $B_{\text{но}} = 0,5 \div 1,98 \text{ Тл}$:

На первом этапе рассчитывалось значение производной составляющей магнитной проводимости g_1 , определяемой геометрической фигурой в виде призмы и обозначенной поз. 1 на рис. 2. На втором этапе рассчитывалось значение производной магнитной проводимости поля выпучивания в областях, обозначенных поз. 2 (рис. 2.)

Рис. 2. Расчетная область зубцово-пазовой зоны

На третьем этапе определялось результирующее значение магнитной проводимости путем суммирования значений, полученных на первом и втором этапах.

Результаты исследований представлены на рис. 3, где значения производной магнитной проводимости, полученные в соответствии с первым этапом, отображены в виде кривой 1. Результаты второго этапа – в виде кривой 2 и на третьем этапе – в виде кривой 3 (рис. 3). Кривая 4 характеризует значения статической тяговой характеристики для качественного сопоставления с результатами, полученными на третьем этапе и для подтверждения корректности проводимого эксперимента.

В численном эксперименте значения производной магнитной проводимости определялись через нахождение тягового усилия зубцов якоря:

$$\frac{dG}{dx} = \frac{2F_{\text{yi}}}{(lw)^2},$$

где F_{yi} – статическое тяговое усилие, I – ток, w – число витков катушки.

В ходе численного эксперимента было установлено, что:

- значения производной составляющей магнитной проводимости g_1 (кривая 1 на рис. 3) в 1,5 раза больше значений производной составляющей магнитной проводимости поля выпучивания (кривая 2 на рис. 3);
- значения производной магнитной проводимости g_1 в интервале смещения зубцов $0,25 \leq \delta \leq 3,75 \text{ мм}$ изменяются в пределах 11-12 %;
- при изменении индукции в стали в диапазоне $B_{\text{но}} = 0,5 \div 1,98 \text{ Тл}$ характер изменения кривой 1 остается неизменным;

- при $\delta = 4$ мм наблюдается резкий скачок в значениях производной магнитной проводимости поля выпучивания;
- в интервале смещения $0 \leq \delta \leq 0,5$ мм значения производной магнитной проводимости поля выпучивания имеют отрицательный знак, объясняется особенностями системы отсчета в программном пакете FEMM [26].

Рис. 3. Зависимости производной магнитной проводимости

На основании проведенных исследований для повышения точности расчетных значений производной магнитной проводимости воздушных зазоров зубцово-пазовой зоны ЛЭМД рекомендуется поправочные коэффициенты применять для составляющей производной магнитной проводимости g_1 , определяемой геометрической фигурой в виде призмы. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании ЛЭМД с активной зубцово-пазовой зоной.

Список используемых источников:

1. Мошкин В.И., Нейман В.Ю., Угаров Г.Г. Импульсные линейные электромагнитные двигатели // Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. 220 с.
2. Нейман В.Ю. Интегрированные линейные электромагнитные двигатели для импульсных технологий // Электротехника. 2003. № 9. С. 25–30.
3. Нейман В.Ю. Анализ процессов энергопреобразования линейных электромагнитных машин с предварительным аккумулярованием магнитной энергии в динамических режимах // Электротехника. 2003. № 2. С. 30–36.
4. Угаров Г.Г., Нейман В.Ю. Анализ показателей электромагнитных ударных машин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1996. № 2. С. 72–80.
5. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Низкочастотные ударные электромагнитные машины и технологии // Актуальные проблемы в машиностроении. 2014. №1. С. 256–259.
6. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Линейные синхронные электромагнитные машины для низкочастотных ударных технологий // Электротехника. 2014. № 12. С. 45–49.
7. Нейман В.Ю. К вопросу о рационализации рабочих процессов и выбора конструктивных схем электромагнитных ударных машин // Автоматизированные электромеханические системы: Коллективная монография. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. С. 155–169.
8. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Новые конструктивные решения проблемы точной синхронизации возвратно-поступательного движения бойка неуправляемой электромагнитной машины ударного действия // Актуальные проблемы в машиностроении. 2015. №2. С. 280–285.

9. Аксютин В.А., Нейман Л.А., Нейман В.Ю., Скотников А.А. Прессовое оборудование с линейным электромагнитным приводом для механизации технологических процессов ударной сборки и штамповки мелких изделий // Актуальные проблемы в машиностроении. 2015. №2. С. 220–224.
10. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Математическая модель электромеханической системы колебательного движения с упругими связями // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2015. № 6. С. 35–40.
11. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Моделирование динамических процессов в электромагнитных преобразователях энергии для систем генерирования силовых воздействий и низкочастотных вибраций // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 4. С. 154–162.
12. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Динамическая модель электромагнитного привода колебательного движения для систем генерирования низкочастотных вибраций // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2015. № 3(28). С. 75–87.
13. Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Петрова А.А., Скотников А.А., Рогова О.В. К вопросу учета главных размеров при выборе типа электромагнита по значению конструктивного фактора // Электротехника. 2011. № 6. С. 50–53.
14. Нейман В.Ю. Режимы форсированного аккумулирования магнитной энергии в импульсных линейных электромагнитных двигателях // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2003. № 1. С. 105–112.
15. Нейман В.Ю., Петрова А.А. Сравнение способов форсировки импульсных линейных электромагнитных двигателей // Электротехника. 2007. № 9. С. 47–50.
16. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Исследование двухкатушечной синхронной электромагнитной машины с инерционным реверсом бояка // Современные проблемы теории машин. 2014. № 2. С. 109–110.
17. Нейман В.Ю., Евреинов Д.М., Нейман Л.А., Скотников А.А., Смирнова Ю.Б. Способы повышения энергетических показателей однообмоточных импульсных устройств с электромагнитным возбуждением // Транспорт: наука, техника, управление. 2010. № 8. С. 29–31.
18. Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Петрова А.А. Влияние соотношений главных размеров электромагнитов на значения конструктивного фактора и показателя экономичности // Автоматизированные электромеханические системы. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. С. 177–187.
19. Патент №2526852 РФ, МКИ H02K33/02, H02K1/06. Электромагнитный двигатель (варианты). Нейман Л.А., Нейман В.Ю., Рогова О.В. №2012146808/07; заявлено 01.11.12; опуб. 27.08.14, Бюл № 24.
20. Патент №112722 РФ, МКИ F04B45/00. Электромагнитный компрессор. В.Ю. Нейман, О.В. Рогова. №2011133626/06; заявлено 10.08.11; опуб. 20.01.12, Бюл № 2.
21. Нейман Л.А., Рогова О.В. К исследованию тяговых характеристик электромагнитных приводов с учетом зубчатости элементов магнитопровода // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2013. № 1 (20). С. 100–108.
22. Нейман В.Ю., Рогова О.В. Бытовое компрессорное оборудование с линейным электромагнитным двигателем // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 2. С. 257–261.
23. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Применение метода проводимостей для учета силы одностороннего магнитного притяжения асимметричного электромагнита // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 2 (97). С. 214–218.
24. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Повышение точности аналитического расчета радиальных сил одностороннего магнитного притяжения некоаксиальных элементов магнитопровода // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2015. № 1 (58). С. 246–256.
25. Рогова О.В. Расчет зубчатых магнитных систем для технологического виброимпульсного оборудования // Современные проблемы машиностроения. Томск: изд-во ТПУ, 2013. С. 60–62.
26. Петрова А.А., Нейман В.Ю. Моделирование в FEMM магнитного поля для расчета тяговых характеристик электромагнитных двигателей постоянного тока // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. 2008. № 2. С. 101–108.