



УДК 629.113-83
doi:10.21685/2587-7704-2022-7-2-11



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Разработка конструкции привода с дискретным магнитожидкостным слоем управления

Сергей Викторович Кнестяпин

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
knestyarin2002@bk.ru

Сергей Владимирович Волков

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
rtech@pnzgu.ru

Сергей Геннадьевич Исаев

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
eltech@pnzgu.ru

Сергей Евгеньевич Ларкин

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
eltech@pnzgu.ru

Вячеслав Сергеевич Чапаев

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
eltech@pnzgu.ru

Аннотация. Рассматриваются возможная конструкция дискретного магнитожидкостного слоя управления в линейном асинхронном двигателе, предлагаемая на основе исследования свойств магнитных жидкостей и конфигурации полей в индукторе.

Ключевые слова: дискретный магнитожидкостный слой управления, магнитная жидкость, линейный асинхронный двигатель

Для цитирования: Кнестяпин С. В., Волков С. В., Исаев С. Г., Ларкин С. Е., Чапаев В. С. Разработка конструкции привода с дискретным магнитожидкостным слоем управления // Инжиниринг и технологии. 2022. Т. 7(2). С. 1–4. doi:10.21685/2587-7704-2022-7-2-11

Development of a drive design with a discrete magnetofluidic control layer

Sergey V. Knestyarin

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
knestyarin2002@bk.ru

Sergey V. Volkov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
rtech@pnzgu.ru

Sergey G. Isaev

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
eltech@pnzgu.ru

Sergey E. Larkin

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
eltech@pnzgu.ru

Vyacheslav S. Chapaev

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
eltech@pnzgu.ru

Abstract. A potential design of a discrete magnetofluidic control layer in a linear asynchronous motor is considered. It is based on the study of the properties of magnetic fluids and the configuration of fields in the inductor.



Keywords: discrete magnetofluidic control layer, magnetic fluid, linear asynchronous motor

For citation: Knestyapin S.V., Volkov S.V., Isaev S.G., Larkin S.E., Chapaev V.S. Development of a drive design with a discrete magnetofluidic control layer. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2022;7(2):1–4. (In Russ.). doi:10.21685/2587-7704-2022-7-2-11

Свойства магнитных жидкостей, приведенные в [1, 2], позволяют проанализировать более детально конструкции привода с дискретным слоем управления (конструкции типа А2ВхСхDхE3(2)Fх) [3] и, кроме того, разработать конструкции, в которых учтены основные особенности поведения МЖ в постоянном и переменном магнитных полях.

К наиболее существенным свойствам МЖ для применения в ЛАДУС можно отнести следующие.

1. Кривая намагничивания описывается [4] выражением

$$M_{\text{мж}} = M_{\text{нас}}H / (H_{\text{T}} + H). \quad (1)$$

2. В неоднородных магнитных полях МЖ втягивается в места с наиболее интенсивным значением поля.

3. Форма свободной поверхности слоя МЖ в магнитном и гравитационном полях описывается выражением, приведенным в [5].

4. При определенной величине магнитного поля, направленного нормально свободной поверхности слоя магнитной жидкости, возникает явление неустойчивости свободной поверхности [5].

5. В магнитном поле, направленном тангенциально свободной поверхности, явления неустойчивости не возникает.

6. В бегущем поле одностороннего индуктора МЖ может увлекаться бегущим полем, при этом скорость увлечения полем зависит от жесткости связи вектора ориентации частицы феррофазы с магнитным моментом частицы [2].

На основе приведенных свойств магнитных жидкостей и результатов исследований [1–3, 5–10] можно сделать выводы относительно конструкций с неоднородным слоем управления.

Конструкция линейного асинхронного двигателя с поперечно подмагничиваемым СУ (конструкция А2В2С3D1F3E2) [8] обладает следующими достоинствами (рис. 1):

– конструкция позволяет регулировать тяговое усилие путем перемещения МЖ в пределах зубцового деления индуктора;

– перемещение осуществляется путем подмагничивания СУ.

Однако при реализации этой конструкции необходимо учитывать, что могут возникать значительные потоки рассеяния управляющего магнитного поля, замыкающиеся через индуктор и вторичный элемент (ВЭ). При увеличении зазора между индуктором и слоем управления и применении жидкости с максимальными значениями магнитной проницаемости можно улучшить концентрацию управляющего поля. Возможно также некоторое уменьшение магнитной проницаемости магнитной жидкости за счет одновременного подмагничивания полем индуктора и управляющим магнитным полем, а также сравнительно большие размеры управляющей системы.

Конструкция с продольным перемещением СУ посредством поршней (А2В1С2D1E2F2) [8] имеет аналогичные преимущества. Кроме того, отсутствие подмагничивания слоя позволяет более полно использовать магнитные свойства магнитной жидкости. Когда дискрет МЖСУ расположен над зубцами индуктора рабочий магнитный поток максимален, при расположении дискрет над пазами рабочий поток минимален. Зазор между слоем управления и индуктором возможно сделать минимальным, что благоприятно сказывается на энергетических показателях привода.

К недостаткам подобной конструкции можно отнести техническую сложность реализации механического способа перемещения магнитной жидкости в пределах зубцового деления индуктора, что снижает быстродействие привода и его надежность.

Поэтому для решения некоторых из вышеперечисленных проблем предлагается располагать магнитожидкостный слой управления в межзубцовом пространстве (рис. 1). Предлагаемая конструкция является также развитием систем управления приводом с размещением в межзубцовом пространстве привода СУ из твердого ферромагнетика. Принцип работы этой конструкции заключается в следующем. При отсутствии МЖ в межзубцовой зоне поток индуктора в основном замыкается через ВЭ и создает максимальное тяговое усилие. По мере заполнения межзубцового пространства магнитной жидкостью увеличивается часть потока индуктора, замыкающаяся через слой управления. Это приводит к снижению тягового усилия. Такая конструкция обладает следующими свойствами.

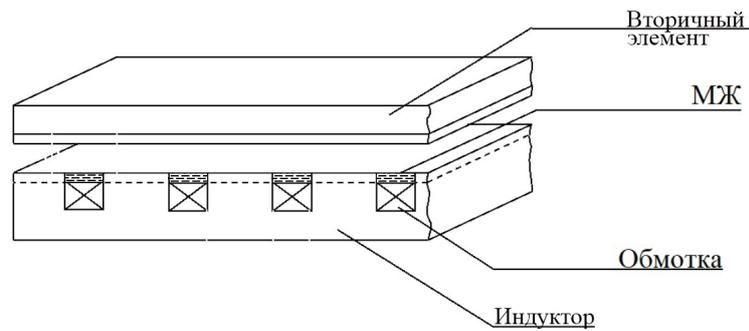


Рис. 1. Конструкция линейного асинхронного привода с магнитожидкостным слоем управления в межзубцовом пространстве

1. Нет необходимости решать проблему увлечения слоя МЖ бегущим магнитным полем, если вектор намагниченности частиц МЖ жестко связан с ориентацией частицы. При этом отпадают ограничения в применении типов МЖ с этой точки зрения в ЛАДУС.

2. Поле индуктора при определенных условиях будет втягивать МЖ в межзубцовое пространство (действует принцип минимума энергии системы в равновесном состоянии). При этом увеличивается индуктивность обмоток индуктора, что приводит к уменьшению потребляемого двигателем тока. При увеличении отношения ширины паза к его длине и высоте эффект ослабевает. Это способствует дополнительному удержанию жидкости в межзубцовом зазоре, что важно при изменениях скорости и направления перемещения привода.

3. МЖ при этом находится под воздействием в основном тангенциального поля. Поэтому проблема неустойчивости свободной поверхности менее актуальна, чем для конструкций с расположением МЖ в зазоре.

4. В случае нахождения МЖСУ над зубцами индуктора необходимо решать вопросы, связанные с возможностью касаний вторичного элемента или посторонних предметов, попавших в зазор, со слоем управления, что в реальных условиях эксплуатации не редкость. При помещении МЖСУ в межзубцовое пространство эти проблемы разрешаются.

К недостаткам этого способа можно отнести инерционность системы управления, некоторое снижение надежности привода из-за усложнения конструкции управляющей системы по сравнению со сплошным СУ, а также снижение использования стали индуктора за счет увеличения высоты зубцов.

Предложенное расположение СУ позволяет применить различные типы управляющих воздействий для перемещения жидкости в межзубцовом канале – магнитные, пневматические, гидравлические и др. Один из возможных вариантов такого типа конструкций и использованием поршня для перемещения МЖ представлен на рис. 2. При перемещении поршня магнитная жидкость в большей или меньшей степени заполняет межзубцовое пространство индуктора, что приводит к регулированию интегральных параметров привода.

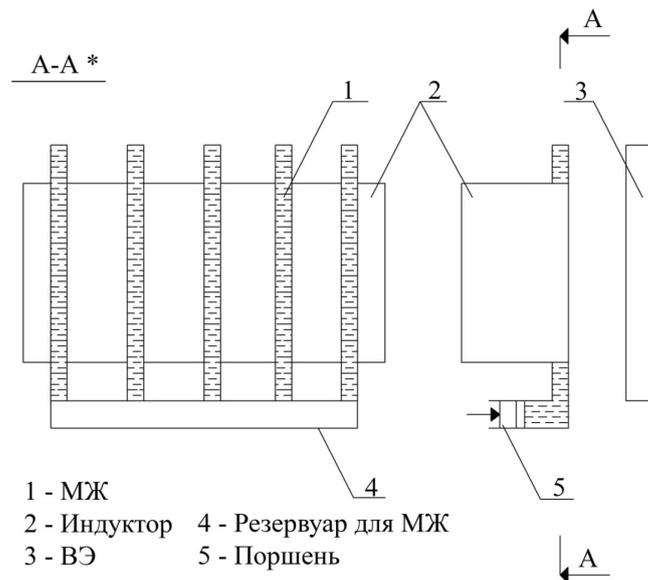


Рис. 2. Возможная конструкция дискретного магнитожидкостного слоя управления, расположенного в межзубцовом пространстве ЛАД



Список литературы

1. Чапаев В. С., Волков С. В., Исаев С. Г. Экспериментальные исследования поведения взвеси магнитных частиц в минеральном масле и магнитной жидкости в стационарных магнитных полях // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2020. Т. 2. С. 166–168.
2. Чапаев В. С., Волков С. В., Исаев С. Г. [и др.]. Экспериментальные исследования поведения магнетитовой магнитной жидкости в бегущем магнитном поле линейного асинхронного двигателя // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2021. Т. 1. С. 96–98.
3. Чапаев В. С., Волков С. В., Медведик Ю. Т. Проблемы технической реализации линейного асинхронного двигателя с управляющим слоем // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2010. Т. 2. С. 128–129.
4. Берковский Б. М., Медведев В. Ф., Краков М. С. Магнитные жидкости. М. : Химия, 1989. 240 с.
5. Чапаев В. С., Волков С. В., Мартяшин А. А. Основные математические соотношения для исследования распределения магнитного поля в линейном асинхронном двигателе с управляющим слоем // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2016. Т. 1. С. 153–155.
6. Чапаев В. С., Волков С. В. Исследования линейного асинхронного двигателя с управляющим слоем // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2008. Т. 2. С. 135–136.
7. Чапаев В. С., Волков С. В., Медведик Ю. Т. Рациональная конструкция линейного асинхронного двигателя с управляющим слоем // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2009. Т. 2. С. 130–131.
8. Чапаев В. С., Волков С. В., Голобоков С. В. Классификация вариантов конструкций линейного асинхронного двигателя с управляющим слоем // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 2. С. 157.
9. Чапаев В. С., Волков С. В., Волков Д. С. Математическое моделирование линейного асинхронного двигателя с дискретным управляющим слоем // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 1. С. 226–227.
10. Чапаев В. С., Волков С. В., Волков Д. С. Математическое моделирование линейного асинхронного двигателя со сплошным управляющим слоем // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 1. С. 230–231.

References

1. Chapaev V.S., Volkov S.V., Isaev S.G. Experimental research on the behavior of a suspension of magnetic particles in mineral oil and magnetic fluid in stationary magnetic fields. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium on Reliability and Quality*. 2020;2:166–168. (In Russ.)
2. Chapaev V.S., Volkov S.V., Isaev S.G. et al. Experimental research on the behavior of a magnetite magnetic fluid in a traveling magnetic field of a linear induction motor. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium on Reliability and Quality*. 2021;1:96–98. (In Russ.)
3. Chapaev V.S., Volkov S.V., Medvedik Yu.T. Problems of technical implementation of a linear asynchronous motor with a control layer. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium on Reliability and Quality*. 2010;2:128–129. (In Russ.)
4. Berkovskiy B.M., Medvedev V.F., Krakov M.S. *Magnitnye zhidkosti = Magnetic fluids*. Moscow: Khimiya, 1989:240. (In Russ.)
5. Chapaev V.S., Volkov S.V., Martyashin A.A. Basic mathematical relations for studying the distribution of the magnetic field in a linear induction motor with a control layer. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium on Reliability and Quality*. 2016;1:153–155. (In Russ.)
6. Chapaev V.S., Volkov S.V. Investigations of a linear induction motor with a control layer. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium on Reliability and Quality*. 2008;2:135–136. (In Russ.)
7. Chapaev V.S., Volkov S.V., Medvedik Yu.T. Rational design of linear induction motor with a control layer. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium on Reliability and Quality*. 2009;2:130–131. (In Russ.)
8. Chapaev V.S., Volkov S.V., Golobokov S.V. Classification of design options for a linear induction motor with a control layer. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium on Reliability and Quality*. 2012;2:157. (In Russ.)
9. Chapaev V.S., Volkov S.V., Volkov D.S. Mathematical modeling of a linear induction motor with a discrete control layer. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium on Reliability and Quality*. 2013;1:226–227. (In Russ.)
10. Chapaev V.S., Volkov S.V., Volkov D.S. Mathematical modeling of a linear induction motor with a continuous control layer. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium on Reliability and Quality*. 2014;1:230–231. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 10.03.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 12.04.2022

Принята к публикации / Accepted 29.04.2022