
УДК 621.318.3

Д.Н. ШЕСТАКОВ, старший преподаватель (КГУ)
В.И. МОШКИН, д.т.н., доцент (КГУ)
г. Курган

СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ УСИЛИЯ УДЕРЖАНИЯ ЯКОРЯ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация. Показана возможность регулирования усилия удержания якоря линейного электромагнитного двигателя изменением насыщения магнитной системы устройства удержания якоря.

Ключевые слова: линейный электромагнитный двигатель, тяговая характеристика, устройство удержания якоря.

Линейные электромагнитные двигатели (ЛЭМД), в которых происходит взаимодействие магнитного поля с ферромагнитными материалами для электромеханического преобразования энергии, находят широкое распространение в самых разных отраслях промышленности, транспорта и сельского хозяйства. На основе ЛЭМД создают механизмы ударного и вибрационного действия, возвратно-поступательного и возвратно-вращательного перемещения. Предельная простота конструкции ЛЭМД, высокая надежность, возможность непосредственного (без механических передач) получения линейного перемещения подвижной части машины, высокое быстродействие определили широкое распространение таких двигателей и тем самым обусловили актуальность исследования физических процессов в них с целью улучшения энергетических и функциональных характеристик. Разработке и исследованию ЛЭМД посвящено большое количество публикаций в отечественных и зарубежных изданиях [1-3].

В условиях ограниченного перемещения якоря электромагнитного двигателя и невозможности резкого увеличения его тягового усилия важное значение приобретает искусственное удержание начала движения якоря (процесс удержания якоря). За счёт этого удаётся существенно поднять энергоэффективность электромеханического преобразования энергии в ЛЭМД [4]. За время такой задержки (несколько миллисекунд) ток обмотки возбуждения ЛЭМД и его начальное тяговое усилие успевают возрасти до необходимых значений, обеспечивая высокие не только энергетические, но и динамические показатели электромагнитного привода [5]. Если обмотка устройства удержания якоря (УУЯ) питается отдельного дополнительного источника, как это выполнено в [5], то проблем при регулировании усилия удержания не возникает. Однако при последовательном соединении обмоток возбуждения (ОВ) и удержания (ОУЯ) такое регулирование

невозможно. А оно позволяет не только отказаться от дополнительного источника питания, но и увеличить энергию рабочего хода [6-8].

Цель работы – рассмотреть возможность регулирования усилия удержания якоря при последовательном соединении ОВ и ОУЯ ЛЭМД, выполненного по конструктивной схеме из [7, 8] (рис.1).

В результате математического моделирования такой магнитной системы ЛЭМД было установлено, что тяговые электромеханические характеристики электромагнитного двигателя и устройства удержания якоря между собой не пересекаются и расходятся. В результате отрыв якоря от устройства УУЯ невозможен. Для обеспечения отрыва и последующей работоспособности электромагнитного привода нами предлагается использовать явление насыщения магнитной системы устройства УУЯ. Для этого предлагается использовать подмагничивающую обмотку (обмотку управления), расположенную в расточке обмотки УУЯ. При подаче питающего напряжения на все три обмотки и росте тока вследствие насыщения магнитной цепи устройства УУЯ происходит ограничение роста его магнитного потока и соответственно усилия удержания.

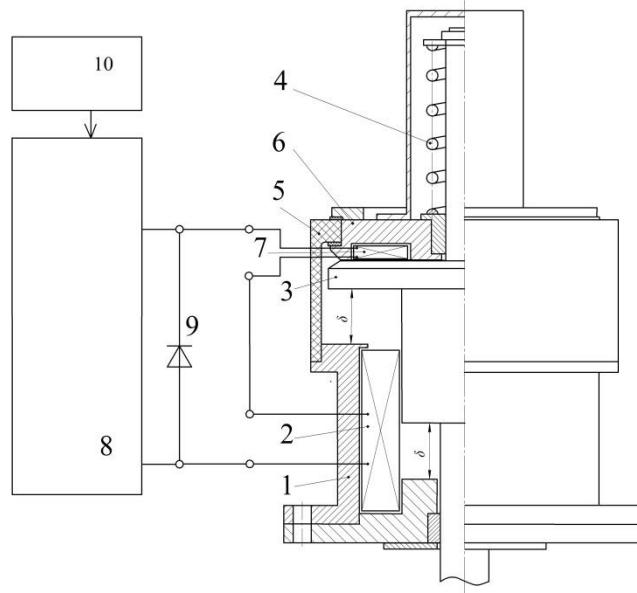


Рис. 1. Линейный электромагнитный двигатель с УУЯ:

1 – статор; 2 – обмотка возбуждения (ОВ); 3 – дисковая часть якоря; 4 – возвратная пружина; 5 – направляющий корпус; 6 – магнитопровод УУЯ; 7 – обмотка удержания (ОУЯ); 8 – источник питания; 9 – шунтирующий диод; 10 – устройство управления

При превышении тягового усилия двигателя над усилием удержания происходит отрыв якоря и его интенсивный разгон, поскольку усилие удержания падает практически до нуля.

На рис.2 в ПК Elcut [9] представлена математическая модель и картина поля ЛЭМД с обмотками удержания якоря (ОУЯ) и управления (ОУ), с помощью которой можно оценить возможность регулирования усилия удержания при питании обмоток ОУЯ и ОВ по рис.1. Изменять МДС об-

мотки управления возможно, например, с использованием регулировочного резистора при питании от того же источника.

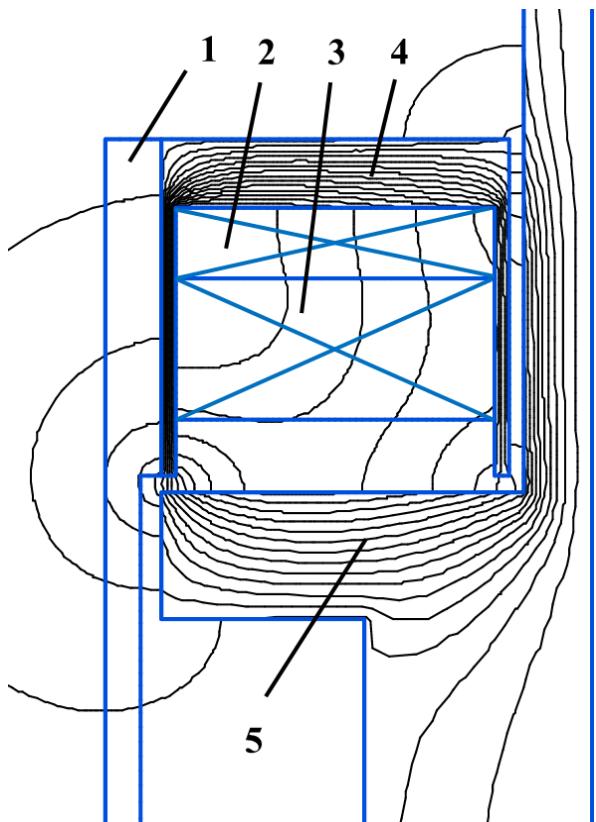


Рис. 2. Модель и картина магнитного поля УУЯ в Elcut:

- 1 – немагнитный корпус; 2 – обмотка управления(ОУ); 3 – обмотка УУЯ(ОУЯ);
- 4 – магнитопровод УУЯ; 5 – якорь

слабо нарастал. Это с ростом тока возможно при наступлении насыщения магнитной цепи устройства УУЯ. Насыщение будет происходить при определённом сечении магнитопровода УУЯ, а отрыв – при пересечении электромеханической характеристики ЛЭМД (сплошная линия) и характеристиками УУЯ (пунктирная и четырьмя обозначенными на рис.3).

При моделировании число витков обмотки удержания $w_{уд}$ якоря менялось в широких пределах (от единиц витков до сотен витков). Установлено, что с ростом числа витков $w_{уд}$ увеличивается ток якоря и усилие его отрыва от устройства УУЯ. В результате приняты числа витков обмоток удержания $w_{уд}= 50$ и возбуждения $w_{ов}= 320$, как и в работе [10]. На рис.3 представлены электромеханические тяговые характеристики как самого ЛЭМД (сплошная линия), так и устройства УУЯ в случаях как изменения величины МДС обмотки управления, так и изменения полярности тока

Размеры двигателя взяты из [10], а в его конструкцию добавлено устройство удержания якоря с обмотками ОУЯ и ОУ. При отладке электромагнитного привода по рис.1 и модели по рис. 2 необходимо, чтобы усилие удержания, возникающее в момент включения электромагнитного двигателя, превышало его тяговое усилие. Поэтому нужно так подобрать количество витков обмотки удержания, чтобы скорость роста усилия удержания $F_{уд}$ сначала превосходила скорость роста тягового усилия $F_{дв}$ двигателя, а затем оставалась ограниченной и мало меняющейся $F_{уд.огр}$.

При равенстве усилий $F_{дв} = F_{уд.огр}$ происходит отрыв якоря от устройства УУЯ, якорь начинает ускоряться.

Для ограничения усилия удержания $F_{уд.огр}$ необходимо, чтобы с ростом тока и МДС обмотки удержания её магнитный поток оставался неизменным или

управления. Из этих рисунков можно видеть, что отрыв якоря от устройства УУЯ происходит при разных токах в диапазоне от 21 до 27 ампер и при изменении усилия удержания от 100 до 150 Н.

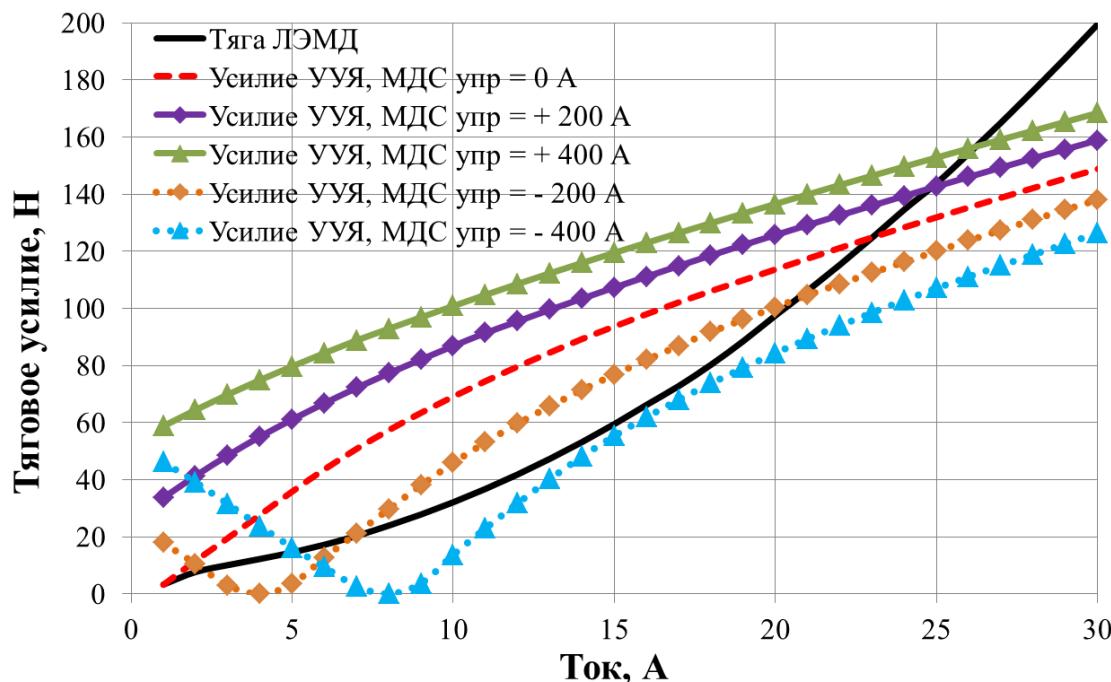


Рис. 3. Электромеханические характеристики ЛЭМД и УУЯ при различных МДС в обмотке управления

Результаты моделирования подтверждают возможность оперативного регулирования усилия удержания и, следовательно, энергии рабочего хода ЛЭМД. Недостатком предложенного способа является сравнительно узкий диапазон регулирования усилия удержания. Расширение пределов регулирования будет представлять собой предмет дальнейших исследований.

Выводы. По результатам моделирования подтверждена возможность регулирования усилия удержания и, следовательно, энергии рабочего хода ЛЭМД.

Список литературы:

1. Угаров, Г.Г. Разработка, создание и концепция развития силовых электромагнитных импульсных систем / Г.Г. Угаров, В.И. Мошкин // Вопросы электротехнологии. – 2020. – № 3 (28). – С. 38–45.
2. Ивашин, В.В. Проектирование мощных короткоходовых импульсных электромагнитных двигателей: монография / В.В. Ивашин, В.П. Певчев. – Тольятти: изд-во ТГУ, 2012. – 159 с.

3. Plavec, E. The impact of plunger angle and radius on the force and time response of DC solenoid electromagnetic actuator used in high-voltage circuit breaker / E. Plavec, B. Filipović-Grčić, M. Vidović // Electrical Power and Energy Systems. – 2020. – Vol. 118, no. 1. – P. 1–7. DOI: 10.1016/j.ijepes. 2019.105767.

4. Шестаков Д.Н. Эффективность преобразования магнитной энергии импульсного линейного электромагнитного двигателя в его энергетических режимах / В.И. Мошкин, Г.Г. Угаров, Д.Н. Шестаков // Вопросы электротехнологии. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2018. № 2(19). С.43-47.

5. Ряшенцев Н.П., Угаров Г.Г., Львицын А.В. Электромагнитные прессы. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. – 216 с.

6. Мошкин, В.И. О возможности увеличения энергии рабочего хода импульсного линейного электромагнитного двигателя / В.И. Мошкин, Г.Г. Угаров, К.М. Усанов // Вопросы электротехнологии. – Саратов: Изд-во СГТУ, – №2(11). – С. 19-24 .

7. Патент RU № 2601727 C1. Электромагнитный пресс. МПК B30B 1/42, B 21J 7/30, H02 K 33/02 /В.И. Мошкин, Г.Г. Угаров, К.М. Усанов, Д.Н. Шестаков, С.Ю. Помялов. Опубл. 10.11.2016. Бюл. №31.

8. Патент RU № 2604356 C1. Импульсный электромагнитный привод. H 02 K 33/02, H 01 F 7/18 /В.И. Мошкин, Г.Г. Угаров, К.М. Усанов, Д.Н. Шестаков, С.Ю. Помялов. Опубл. 10.12.2016. Бюл. №34.

9. ELCUT. Моделирование электромагнитных, тепловых и упругих полей методом конечных элементов. Руководство пользователя. Версия 6.0. ООО «Тор» г. Санкт-Петербург. (<http://elcut.ru>).

10. Коняев, А.Ю. Оценка подходов к моделированию рабочих режимов линейных электромагнитных двигателей / А.Ю. Коняев, В.И. Мошкин, Д.Н. Шестаков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2024. – № 52. – С. 5-24. DOI: 10.15593/2224-9397/2024.4.01.

Информация об авторах:

Шестаков Дмитрий Николаевич, старший преподаватель, КГУ, 640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4, dima740@mail.ru

Мошкин Владимир Иванович, д.т.н., доцент, КГУ, 640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4, wimosh@mail.ru