

М.Э. Скоробогатов, И.А. Грозин, В.С. Сушицкий

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ НЕОДИМОВЫХ ПОДШИПНИКОВ В УСТРОЙСТВАХ СИГНАЛИЗАЦИИ, ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ И БЛОКИРОВКИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Аннотация. Промышленные электродвигатели являются крупнейшими конечными потребителями электроэнергии, на долю которых приходится примерно 45% мирового потребления электроэнергии. Существующие решения для снижения потерь на трении движущихся частей электродвигателей неэффективны и дороги в обслуживании. Затраты на электроэнергию и техническое обслуживание составляют более 70% от общих затрат на их жизненный цикл. Применение магнитных подшипников с неодимовыми магнитами является решением данной проблемы.

Ключевые слова: железнодорожное движение, движение поездов, магнитные подшипники, стрелочные электроприводы, неодимовые магниты.

М.Е. Skorobogatov, I.A. Grozin, V.S. Sushitskiy

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

APPLICATION OF MAGNETIC NEODYMIUM BEARINGS IN SIGNALING, CENTRALIZATION AND BLOCKING DEVICES ON RAILWAY TRANSPORT

Abstract. Industrial electric motors are the largest end consumers of electricity, accounting for approximately 45% of global electricity consumption. Existing solutions to reduce friction losses of moving parts of electric motors are inefficient and expensive to maintain. Energy and maintenance costs account for more than 70% of the total costs of their life cycle. The use of magnetic bearings with neodymium magnets is the solution to this problem.

Keywords: railway traffic, train traffic, magnetic bearings, electric switch drives, neodymium magnets.

Введение

В контексте новых и более сложных промышленных применений, начиная от распределенного производства электроэнергии и заканчивая накоплением энергии, электромобилями и промышленными производственными процессами, электродвигатели по-прежнему сталкиваются с широким спектром проблем [1]. В частности, на железнодорожном транспорте в стрелочных электроприводах под действием вибрации от поездов, проходящих по соседним путям, может появляться несоосность осей вращения электродвигателя и редуктора [2]. Кроме того, традиционные решения для снижения трения требуют постоянной смазки, что негативно сказывается на экологии [3 - 5].

Одним из перспективных путей минимизации указанных недостатков может оказаться замена шариковых подшипников на магнитные. Ключевыми факторами для их внедрения являются: экономия энергии, снижение загрязнения окружающей среды, увеличение удельной мощности, улучшение функциональности, а также повышение надежности и ремонтпригодности [6 - 8]. Кроме того, применение таких подшипников не будет создавать существенных электромагнитных помех для объектов железнодорожной инфраструктуры [9 - 11].

Классификация магнитных подшипников

Принципы технологии магнитных подшипников известны десятилетиями. Изначально это была полностью аналоговая система с громоздкими усилителями мощности и ненадежной системой управления, построенной на индуктивных и емкостных элементах. Это значительно ограничивало применимость технологии только для аэрокосмических и военных проектов.

Примером пассивного подшипника, то есть такого, в котором не используется система отслеживания обратной связи осевого смещения, является однополярный электродинамический подшипник. Для его работы не требуется управляющая электроника, а принцип его действия основан на возникновении токов Фуко в массивном медном цилиндре, окружающем постоянный магнит с осевым намагничиванием, который фиксируется на оси при радиальном смещении вала.

Второе поколение появилось с достижениями в компьютерной индустрии, когда цифровая система управления заменила аналоговую. Рост вычислительной мощности обеспечил достаточную производительность для вычисления управляющих сигналов в режиме реального времени для левитируемого тела. Пример подшипника второго поколения приведён на рис. 1.

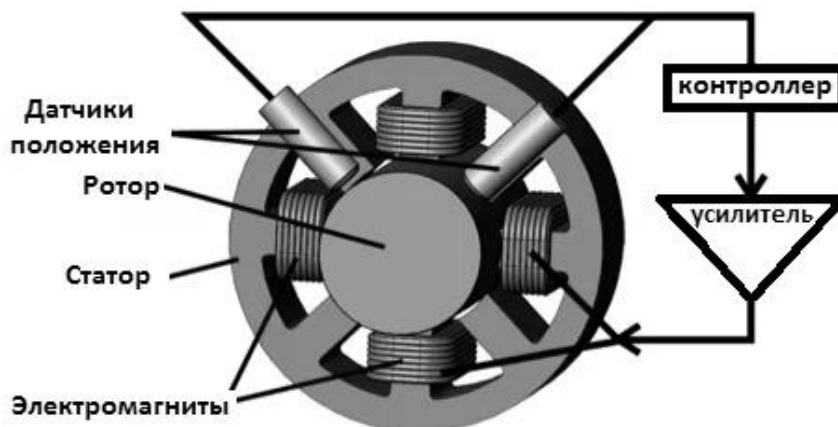


Рис. 1. Принцип действия магнитного подшипника с датчиками положения

Магнитной подшипник с датчиками положения состоит из ротора, статора, датчиков положения, электромагнитов, контроллера и усилителя. Цифровые контроллеры обеспечивают надежность и простоту настройки. Принцип работы таких подшипников реализован за счет магнитного поля, которое создается переменными токами в обмотках сердечников. Вращение вала в таком подшипнике осуществляется без физического контакта поверхностей друг с другом.

В сочетании с цифровым управлением появилось третье поколение магнитных подшипников, когда на рынке появились более компактные и быстрые импульсные усилители мощности, в которых присутствует датчики положения вала ротора. Они контролируют положение вала ротора и подают сигналы автоматической системе управления для изменения напряженности магнитного поля статора с нужной стороны. На этом этапе в промышленности начали внедрять подобные технологии в более широком масштабе.

Материалы для магнитных подшипников

Для создания магнитного поля в подшипниках могут использоваться разные магниты: неодимовые, альнико или самариевые.

Неодимовые магниты были впервые разработаны в 1982 году компаниями General Motors и Sumitomo Special Metals в соответствии с рецептурой сплава NdFeB, который состоит из неодима, а также железа и бора. Неодимовые магниты имеют очень высокие показатели остаточной магнитной индукции и устойчивости к размагничиванию: 1-2% в 10 лет при условии соблюдения температурного режима. Однако, одним из основных недостатков таких магнитов является низкая температура эксплуатации (таблица 1).

Постоянные магниты альнико (ЮНДК) впервые появились в 40-х годах двадцатого года. Они состоят из алюминия, никеля, кобальта и железа. Чаще всего такие магниты производятся либо методом отлива, либо методом спекания. Материал альнико больше всего подходит для высокотемпературных применений, так как имеет высокую рабочую температура до 550°C и

выше, а также большую коррозионную устойчивость. Недостатком магнитов альнико является их частичное размагничивание в том случае, если они находятся в контакте с другими железистыми материалами, поэтому требуют особый уход при хранении.

Таблица 1. Температурные диапазоны эксплуатации неодимовых магнитов

| № | Марка | Расшифровка | Рабочий диапазон |
|---|-------|-------------|--|
| 1 | N | Normal | применяется при температурах до 80 °С |
| 2 | M | Medium | применяется при температурах до 100 °С |
| 3 | H | High | применяется при температурах до 120 °С |
| 4 | SH | Super High | применяется при температурах до 150 °С |
| 5 | UH | Ultra High | применяется при температурах до 180 °С |
| 6 | EH | Extra High | применяется при температурах до 200 °С |

Самариевые магниты – это постоянные магниты из сплава самарий-кобальт. Максимальная рабочая температура таких магнитов находится в диапазоне от 250 до 350°С, температура Кюри в диапазоне 700-800°С. Еще одним преимуществом этих магнитов является их естественная коррозионная стойкость, благодаря чему нет необходимости в поверхностной обработке.

В виду отсутствия агрессивных сред, температуры эксплуатации, не превышающей 200°С, а также с учётом стоимости наиболее перспективными магнитными подшипниками, применяемыми в стрелочных электроприводах железнодорожного транспорта, являются неодимовые.

Принцип действия магнитных подшипников

Магнитные неодимовые подшипники основаны на левитации, то есть процессе, с помощью которого объект удерживается в воздухе без механической поддержки. Поддерживающие силы могут исходить из нескольких источников. Когда силы создаются магнитным полем, процесс называется магнитной левитацией.

В магнитном подшипнике (рис. 2) магниты расположены на противоположных сторонах. Набор датчиков положения непрерывно измеряет положение ротора. Зная точное местоположение ротора, контроллер магнитного подшипника может оценить, какое усилие требуется от каждого магнита для центрирования ротора.

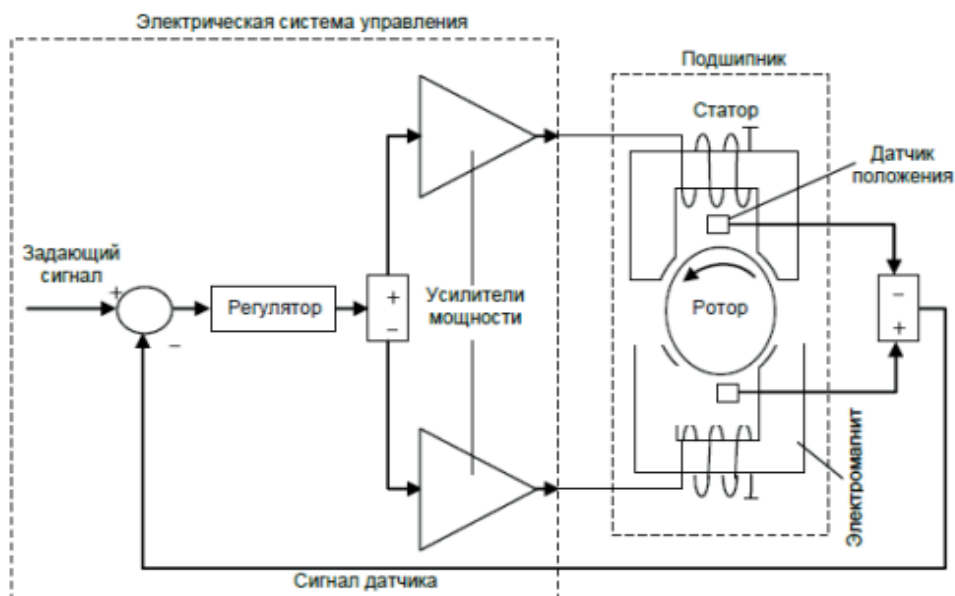


Рис. 2. Принцип действия электромагнитного подшипника

Система датчиков непрерывно следит за положением вала и подает сигналы системе автоматического управления для точного позиционирования путем корректировки

позиционирующего магнитного поля статора, - сила притяжения с нужной стороны вала делается сильнее или слабее путем регулировки тока в статорных обмотках активных подшипников.

Датчики оценивают положение ротора до 100 000 раз в секунду и могут обнаружить любые незначительные изменения в системе. Они предоставляют дополнительную информацию и информацию как об электродвигателе, так и о процессе, в котором работает двигатель. Отсутствие механического контакта устраняет трение и соответствующие потери, что позволяет электродвигателям с магнитными подшипниками быть более энергоэффективными. Кроме того, так как неподвижные и вращающиеся детали не соприкасаются друг с другом, то износ компонентов отсутствует.

Вал, находящийся в магнитной подвеске, может вращаться с высокой скоростью без трения, износа и с очень низкой вибрацией. Кроме того, активные магнитные подшипники устраняют потери на трение, что приводит к повышению общей механической и энергетической эффективности. Это, в свою очередь, позволит производителям скорректировать энергозатраты, снижая потери энергии и выбросы CO₂.

Заключение

Технология магнитных подшипников – это принципиально новое решение, при котором отсутствует контакт между вращающимися и неподвижными частями оборудования. Это означает отсутствие механического износа, что приводит к минимальному риску поломки. Следовательно, существует минимальная потребность в плановом техническом обслуживании и незапланированных простоях, влияющих на весь производственный процесс конечных пользователей.

Кроме того, магнитные подшипники подходят для применений и сред, чувствительных к вибрациям машины. Магнитные подшипники сводят к минимуму неудобный шум машины для окружающей среды, создаваемый технологическим процессом или самим электродвигателем.

Магнитные подшипники позволяют контролировать положение стрелки, определять механические повреждения стрелочного перевода и взрез стрелки. Также за счет меньшего сопротивления и колебаний, увеличат срок службы электродвигателя, приводов стрелочных переводов и немного ускорят процесс работы стрелочного перевода. Кроме того, позволят более реже проводить обслуживание агрегатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Study of the operation of high-frequency electrical plants of railway consumers / A. V. Pulyakov, M. V. Kopanев, V. A. Alexeenko [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, SibTrans 2019, Moscow, 21–24 мая 2019 года. Vol. 760. – Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012028. – DOI 10.1088/1757-899X/760/1/012028. – EDN KKTZEZ.
2. Устройства СЦБ. Технология обслуживания. М.: Транспорт, 1999. - 427 с.
3. Кучера Л.Я., Арсентьев М.О. Экспертная система поиска отказов стрелочных электроприводов // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2016. С. 40-44.
4. Кондратюк, Т.В. О внедрении новых электродвигателей для стрелочных горочных приводов [Электронный ресурс] / Т.В. Кондратюк, М.В. Копанев, О.И. МониД // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. - 2021. - №1(11). - Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/111-2021>, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
5. Копанев М.В., Кучера Л.Я. Математическая модель формирования надежности стрелочного электропривода // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. - Иркутск, 2016. - Т. 1, С. 244-249.

6. Активные электромагнитные подшипники для крупных энергетических машин. М.: ВНИИЭМ, 1988. 10 с.
7. Поляхов Н. Д., Стоцкая А. Д. Обзор способов практического применения активных магнитных подшипников // Научное приборостроение. 2012. Т. 22, № 4. С. 5–18.
8. Щеклеина И. Л., Горякова В. В. Об истории развития и применения активных подшипников // Энергетика настоящего и будущего: сб. материалов I Евроазиатской выставки и конф. (16–18 февр. 2010 г.). Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2010.
9. Пультяков, А. В. Исследование влияния электромагнитных помех на работу устройств автоматической локомотивной сигнализации / А. В. Пультяков, М. Э. Скоробогатов, Д. С. Халиманов // Мат-лы всерос. научн.-практ. конф. "Образование - наука - производство" - Чита: ЗаБИЖТ ИрГУПС, 2018. - С. 191 - 197.
10. Скоробогатов, М. Э. Узкополосный цифровой фильтр для выделения сигналов АЛСН в условиях действия интенсивных помех / М. Э. Скоробогатов // Транспорт Урала. – 2019. – № 4(63). – С. 20-27. – DOI 10.20291/1815-9400-2019-4-20-27. – EDN NMFMBD.
11. Демьянов В.В., Пультяков А.В., Скоробогатов М.Э., Алексеенко В.А. Методика определения порогового значения отношения сигнал/помеха для систем автоматической локомотивной сигнализации // Автоматика на транспорте. 2020. Т. 6. № 2. DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-2-149-164.

BIBLIOGRAPHIC LIST

1. Study of the operation of high-frequency electrical plants of railway consumers / A. V. Pulyakov, M. V. Kopanov, V. A. Alexeenko [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, SibTrans 2019, Moscow, 21–24 мая 2019 года. Vol. 760. – Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012028. – DOI 10.1088/1757-899X/760/1/012028. – EDN KKTZEZ.
2. SCB devices. Service technology. M.: Transport, 1999. - 427 p.
3. Kucher L.Ya., Arsentiev M.O. Expert system for searching for failures of switch electric drives // Improving the efficiency of production and use of energy in Siberia Materials of the All-Russian Scientific and practical conference with international participation. 2016. pp. 40-44.
4. Kondratyuk, T.V. On the introduction of new electric motors for arrow slide drives [Electronic resource] / T.V. Kondratyuk, M.V. Kopanov, O.I. Monid // Young Science of Siberia: electron. scientific journal. - 2021. - №1(11). - Access mode: <http://mnv.irgups.ru/toma/111-2021> , free. - Blank from the screen. - Yaz. rus., Eng.
5. Kopanov M.V., Kucera L.Ya. Mathematical model of forming the reliability of a switch electric drive // Transport infrastructure of the Siberian region. - Irkutsk, 2016. - Vol. 1, pp. 244-249.
6. Active electromagnetic bearings for large power machines. Moscow: VNIIEМ, 1988. 10 p.
7. Polyakhov N. D., Stotskaya A.D. Review of methods of practical application of active magnetic bearings // Scientific instrumentation. 2012. Vol. 22, No. 4. pp. 5-18.
8. Shchekleina I. L., Goryakova V. V. About the history of development and application of active bearings // Energetics of the present and the future: collection of materials of the I Eurasian Exhibition and Conference (February 16-18, 2010). Yekaterinburg: UGTU – UPI, 2010.
9. Pulyakov, A.V. Investigation of the influence of electromagnetic interference on the operation of automatic locomotive signaling devices / A.V. Pulyakov, M. E. Skorobogatov, D. S. Halimanov // Mat-ly vsros. nauchn.-practical conference "Education - science - production" - Chita: Zabizht IrGUPS, 2018. - pp. 191-197.
10. 10 Skorobogatov, M. E. Narrowband digital filter for extracting ALSN signals in the presence of intense interference / Transport of the Urals. – 2019. – No. 4 (63). – P. 20–17.
11. Demyanov V.V., Pulyakov A.V., Skorobogatov M.E., Alekseenko V.A. Methodology for determining the threshold value of the signal/interference ratio for automatic locomotive signaling systems // Automation on transport. 2020. Vol. 6. No. 2. DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-2-149-164.

Информация об авторах

Скоробогатов Максим Эдуардович – к. т. н., доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Skor_maxim@mail.ru

Грозин Иван Алексеевич – студент группы ЭЖД.1-19-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: grozin2001@mail.ru

Сушицкий Владислав Сергеевич – студент группы ЭЖД.1-19-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Sushitskiy_vlad@mail.ru

Information about the authors

Skorobogatov Maxim Eduardovich – candidate of Engineering Sciences, associate professor, the Subdepartment of Automation, telemechanics and communication, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Skor_maxim@mail.ru

Grozin Ivan Alekseevich – student group EZD.1-19-1, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: grozin2001@mail.ru

Sushitsky Vladislav Sergeevich – student group EZD.1-19-1, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Sushitskiy_vlad@mail.ru