ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ТИПА ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Мирошниченко Екатерина Евгеньевна
к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»
Ростовский государственный университет путей сообщения
г. Ростов-на-Дону, Россия

INCREASED RELIABILITY OF THE BEARING UNIT OF A TRACTION MOTOR OF THE SWITCHED RELUCTANCE TYPE FOR TRANSPORT SYSTEMS

Miroshnichenko Ekaterina Evgenievna
Ph.D. of Engineering Sciences,
Associate Professor at the Department of «Traction rolling stock»
Rostov State Transport University
Rostov-on-Don, Russia

Аннотация. Предметом исследований является тяговый вентильно-индукторный двигатель для транспортных систем с неравномерным воздушным зазором. Проведен расчет сил одностороннего магнитного притяжения при смещении ротора. Выявлено, что эти силы достигают высоких значений и оказывают воздействия на подшипники, приводя к их преждевременному износу. Предложены меры по уменьшению влияния сил одностороннего магнитного притяжения и повышению надежности подшипникового узла.

Abstract. The subject of research is the traction switched reluctance motor for transport systems with uneven air gap. The calculation of the forces of one-way magnetic attraction during displacement of the rotor is carried out. It has been shown that these forces reach high values and exert an influence on the bearings leading to their premature wear. Measures are proposed to reduce the influence of one-way magnetic attraction forces and to increase the reliability of the bearing unit.

Ключевые слова: транспортные системы, вентильно-индукторный двигатель, надежность, подшипниковый узел, сила одностороннего магнитного притяжения

Key words: transport systems, switched reluctance motor, reliability, bearing unit, force of a one-way magnetic attraction

Введение.

Транспортные системы являются одним из определяющих факторов в улучшении экономического роста страны. Повышение мощности, надежности и эффективности работы транспорта напрямую зависит от эффективности внедрения новых типов тяговых электродвигателей.

Среди электромеханических преобразователей энергии выделяется вентильно-индукторный электродвигатель (ВИД). Он обладает такими преимуществами как технологичность, ремонтпригодность, сравнительно небольшие затраты на изготовление и эксплуатацию, а также высокий КПД. Совокупность достоинств ВИД обуславливает его широкое применение в различных областях [1, 2].

Значительные успехи в разработке и внедрении тягового ВИД для транспортных систем достигнуты многими ведущими электротехническими компаниями. Так, британским подразделением корпорации EMERSON создан тяговый ВИД для мотор-колес электромеханических трансмиссий фронтальных карьерных погрузчиков и бульдозеров. Фирмой LeTourneau разработан колесный погрузчик L-1350, в системе тягового привода которого использовано четыре ВИД, номинальной мощностью 300 кВт. Научно-производственным объединением «Эметр» создан тяговый привод мощностью 250 кВт с ВИД для дизель-электрического трактора ДЭТ-400. Тяговый двигатель вентильно-индукторного типа НТИ-350 для электропоезда, изготовленный в ОАО «НЭВЗ», имеет меньшую массу по сравнению с асинхронным двигателем и большее значение КПД (примерно на 3%).

Положительный эффект даст применение ВИД на скоростном и высокоскоростном электрическом транспорте, который позволяет обеспечить потоки грузов и пассажиров на протяженной территории Российской Федерации и сопредельных государств.

Однако использование ВИД на практике показывает, что основная доля отказов в эксплуатации связана с выходом из строя подшипников [3]. Это объясняется тем, что вследствие неточностей в изготовлении ВИД возникает неравномерность воздушного зазора, которая служит причиной возникновения сил различной физической природы, действующих на подшипники. Так, в воздушном зазоре ВИД присутствует сила одностороннего магнитного притяжения (ОМП), которая оказывает динамическое воздействие на подшипники.

Такое же динамическое воздействие оказывает и сила дисбаланса, имеющая механическое происхождение. Статические и динамические воздействия в комплексе приводят к быстрому износу элементов подшипниковых узлов и их преждевременному отказу.

Основной целью данной работы является создание предпосылок для широкого внедрения ВИД в систему тягового электропривода транспортных систем за счет повышения надежности его подшипниковых узлов. Для этого следует решить определенную научную задачу, которая заключается в исследовании сил ОМП при неравномерности воздушного зазора в тяговом ВИД и разработке мероприятий по снижению влияния этих сил на подшипники.

Актуальность статьи состоит в том, что применение тягового ВИД, лишенного имеющегося у него недостатка, позволит обеспечить возможность создания транспортных систем с высокой конкурентоспособностью на мировом уровне.

Основная часть

Проведем расчет сил ОМП при неравномерном воздушном зазоре для тягового ВИД, магнитная система которого представлена на рис. 1.

Данный ВИД предназначен для применения на электровозах пятого поколения ЭП20. Он спроектирован с учетом габаритных ограничений, в корпусе ДТА-1200А. Величина воздушного зазора составляет 1,6 мм, количество витков в катушках соответствует тридцати. Режим работы выбран при номинальных параметрах: $n_{ном} = 1766$ об/мин; $P_{ном} = 1300$ кВт.

Рис. 1. Фрагмент сечения активной части ВИД

Неравномерность воздушного зазора может иметь различное множество вариаций, что связано с особенностями технологии изготовления и эксплуатации. Произвести расчеты для всего многообразия не представляется возможным, поэтому ограничимся следующим примером. Перемещаем ротор в радиальном направлении относительно оси симметрии статора на величину смещения 0,2 мм по оси X и 0,2 мм по оси Y.

Затем, производим определение зависимости потокоцепления от тока и угла поворота ротора $\psi(i, \theta)$ для фазных катушек при соответствующем смещении.

Принимаем допущение о том, что вихревые токи и гистерезис не влияют на распределение магнитной индукции. Еще одним допущением является отсутствие поля за пределами магнитной системы тягового ВИД.

Расчет магнитного поля ВИД осуществляем методом конечных элементов. Для этого используем программу FEMM.

Далее, матрица потокоцепления $\psi(i, \theta)$ применяется в программе MATLAB (SIMULINK), где определяются значения фазных токов $i(t)$ представленная на рис. 2. Далее зависимость в формате $i(\theta)$ используется для нахождения сил ОМП, действующих на подшипники (рис. 3).

Из графика (рис.3) следует, что для сил ОМП присущ импульсный характер действия. Наибольших значений силы принимают в конце цикла коммутации фаз. Результирующая сила ОМП достигает значений, существенно превышающих предельные [4]. Поэтому, необходимо принять меры по снижению данных воздействий, оказываемых на подшипники во избежание их преждевременного износа.

Рис. 2. Зависимость фазных токов от момента времени

Рис. 3. Результаты расчета параметров ВИД при смещении ротора:
1 – момент на валу; 2 – сила ОМП по X; 3 – сила ОМП по Y;
4 – модуль силы ОМП (резльтирующая)

Следует на этапе проектирования обеспечить учет допусков на изготовление элементов магнитной системы ВИД [5]. На этапе сборки использовать способы точного размещения ротора, такие как пуклевка листов или учет фактических отклонений в размерах деталей.

Привлекательным выглядит способ снижения сил ОМП за счет компенсации неравномерности воздушного зазора, вызванной особенностями конструкции, путем искусственно вводимой ассиметрии намагничивающих сил. Данный способ основан на принципе левитации в аналогии с активными магнитными подшипниками. Здесь используется бесконтактная подвеска ротора, а его достаточно высокая точность расположения, осуществляется за счет реализации системы управления, содержащей два канала регулирования тока и датчик радиального перемещения ротора. Данное решение позволит снизить нагрузку на подшипники, фактически они будут выполнять лишь функции страховки во избежание аварийных ситуаций.

Выводы.

При проектировании и изготовлении элементов конструкции ВИД необходимо учитывать силы ОМП, возникающие при неравномерном воздушном зазоре. Для этого необходимо вносить изменения в технологический цикл производства, а также применять меры по устранению имеющейся неравномерности воздушного зазора ВИД во избежание негативного воздействия сил ОМП на подшипники. Перспективным является способ реализации активного магнитного подвеса ротора, который дает возможность разгрузки подшипников, что имеет первостепенное значение для тяговых электродвигателей. Данные мероприятия в комплексе позволят снизить износ подшипников и повысить срок их службы.

Применение ВИД с улучшенными показателями надежности подшипникового узла в качестве тягового позволит обеспечить создания транспортных систем конкурентоспособных на мировом уровне.

Список литературы

1. Ильинский Н.Ф. Вентильно-индукторный электропривод – проблемы и перспективы развития // Доклады научно-практического семинара. Вентильно-индукторный электропривод 1 февраля 2007 года. 2007. С. 4–13.
2. Петрушин А.Д., Шевкунова А.В., Кушуба А.В. Оптимизационные расчеты и экспериментальные исследования вентильно-ндукторной машины // Интернет-журнал Науковедение. 2017, Т.9 (№2). С. 73.
3. Анучин А.С. Разработка цифровых систем эффективного управления комплектов тягового электрооборудования гибридных электрических транспортных средств: дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук: 05.09.03// Национальный исследовательский университет «МЭИ». Москва, 2018. 445 с.
4. Мирошниченко, Е.Е. Перспективы использования тяговых вентильно-индукторных электроприводов для высокоскоростного наземного транспорта/ Е.Е. Мирошниченко// Труды международной научно-практической конференции «Транспорт-2014». Ростов н/Д: РГУПС, 2014. С.106 –108.
5. Мирошниченко, Е.Е. Особенности постановки на производство тяговых вентильно-индукторных электродвигателей/ Е.Е. Мирошниченко// Труды международной научно-практической конференции «Транспорт-2017». – Ростов н/Д: РГУПС, 2017. – С.194 –197.

References

1. Ilinski N.F. Switched Reluctance Drive – problems and development prospects. Doklady nauchno-prakticheskogo seminar. Ventil'no-induktornyy elektroprivod 1 fevralya 2007 goda. PP. 4–13. (In Russian).
2. Petrushin A.D., Shevkunova A.V., Kashuba A.V. Optimization calculations and experimental studies of the switched reluctance machine // Internet-zhurnal Naukovedeniye. 2017, No. 2, P. 73. (In Russian).
3. Anuchin A.S. Development of digital systems for effective control of traction power sets of hybrid electric vehicles: dis. for the degree of doct. tech. sciences 05.09.03// National Research University «MPEI». Moscow, 2018. 445 p. (In Russian).
4. Miroshnichenko E. E. Prospects of use traction switched reluctance drive for high-speed land transport //Trudy mezhhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Transport-2014». Rostov n/D: RGUPS, 2014. PP.106 –108. (In Russian).
5. Miroshnichenko E. E. Features of production statement of the traction switched reluctance motor // Trudy mezhhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Transport-2017». Rostov n/D: RGUPS, 2017. PP.194 –197 (In Russian).