

О ВЛИЯНИИ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА РАБОТУ ЛОКОМОТИВНЫХ УСТРОЙСТВ БЕЗОПАСНОСТИ

В работе с использованием компьютерного моделирования, базирующегося на методе конечных элементов, определены характеристики внешнего электромагнитного поля, формируемого при работе асинхронного тягового двигателя в зоне подвеса приемных катушек. Указано на необходимость дальнейшего изучения особенностей индуктивной связи приемных катушек основных устройств безопасности и внешних электромагнитных полей, формируемых силовым оборудованием.



В.С. Кузьмин



Р.О. Рядчиков

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, внешнее электромагнитное поле, асинхронный тяговый привод

EDN: UPJXAJ

Одной из задач, направленных на обеспечение высоких эксплуатационных показателей реализации технологического процесса движения поездов, является повышение надежности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Решение этой задачи неразрывно связано со снижением числа сбоев и нарушений в работе бортовой аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации (в нормативной документации ОАО «РЖД» — основных устройств безопасности). Это связано с тем, что искажение от двух до четырех подряд идущих кодовых комбинаций (в зависимости от текущего показания локомотивного светофора) под действием электромагнитной помехи достаточно для принятия бортовой аппаратурой решения об изменении сигнального показания локомотивного светофора на более запрещающее, что в условиях эксплуатации приводит

к случаям необоснованных экстренных торможений, нарушению графика движения поездов и снижению провозной способности железнодорожной линии.

Статистика, приводимая в открытых источниках, позволяет утверждать, что более чем в 70 % случаев нарушений и сбоев в работе основных устройств безопасности происходит из-за действия в канале «путь — локомотив» рельсовых цепей электромагнитной помехи от различных источников [1;2]. Существенный вклад в электромагнитную обстановку на электрифицированных участках железных дорог вносит электрический подвижной состав [3]. Его влияние складывается из двух составляющих: тягового тока, канализируемого по рельсовой линии, и внешних электромагнитных полей, формируемых силовым оборудованием [4]. В ряде работ, в частности в [5;6], авторы указывают полученные в ходе

Кузьмин Владислав Сергеевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: системы управления движением поездов, сервисное обслуживание устройств безопасности и возимых радиостанций, эксплуатационная эффективность систем управления на железнодорожном транспорте. Автор 71 научной работы, в том числе одной монографии. Имеет 38 патентов на изобретения.

Рядчиков Руслан Олегович, аспирант кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: индуктивный канал связи в системах регулирования движения поездов, электромагнитная совместимость аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации. Автор четырех научных работ. Имеет один патент на изобретение.

моделирования значения индукции (напряженности) для таких внешних электромагнитных полей. Однако эти сведения характеризуют влияние внешних электромагнитных полей на пассажиров и локомотивные бригады и позволяют только утверждать о наличии внешних электромагнитных полей с большими значениями индукции (напряженности) магнитного поля на значительном удалении от оси электродвигателя. В работах [7;8] указывается на наличие влияния внешних электромагнитных полей от силового оборудования электрического подвижного состава на прием сигналов из рельсовой линии, однако количественная оценка такого влияния авторами не приводится. Таким образом влияние внешних электромагнитных полей на работу бортовой аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации остается малоизученным.

С учетом этого, а также интереса, проявляемого как отечественными [9–11], так и зарубежными авторами [12] к вопросу обеспечения электромагнитной совместимости в условиях воздействия внешних электромагнитных полей от силового оборудования, цель настоящей работы заключается в определении характеристик внешнего электромагнитного поля, формируемого в зоне подвеса приемных катушек при работе асинхронного тягового двигателя.

Материалы и методы

В научной литературе изложен ряд подходов к разработке моделей для исследования характеристик внешних электромагнитных полей, формируемых силовым оборудованием, в частности асинхронными тяговыми двигателями. В их основе лежит определение гармонического состава токов, потребляемых асинхронными тяговыми двигателями [13], а также параметров самих асинхронных тяговых двигателей [14]. На основе полученных на подготовительном этапе исходных данных осуществляют моделирование характеристик формируемых ими внешних электромагнитных полей. При этом для моделирования авторы чаще всего используют метод конечных элементов [15;16].

С учетом этого для выполнения моделирования в рамках настоящей работы был выбран метод конечных элементов, а для его реализации использована программная среда COMSOL Multiphysics. Для определения параметров внешнего электромагнитного поля асинхронного тягового двигателя и его сравне-

ния с параметрами электромагнитного поля, формируемого сигнальным током в рельсовой линии, были построены две модели:

- тягового асинхронного двигателя, с действующим значением тока фазы статора, равным 360 А, что соответствует продолжительному режиму работы для электровоза серии ЭП20¹;
- рельсовой линии, в которой протекает сигнальный ток с действующим значением 2 А на несущей частоте 50 Гц².

Геометрические параметры взаимного расположения тягового электродвигателя и приемных катушек взяты для электровоза серии ЭП20 (стандартное взаимное расположение показано на рис. 1).



Рис. 1. Взаимное расположение приемных катушек основных устройств безопасности и асинхронного тягового электродвигателя на электровозе серии ЭП20

Результаты моделирования и их обсуждение

В результате моделирования была получена картина распределения электромагнитных полей в установленвшемся режиме (рис. 2, размеры показаны для центра сердечника с учетом половины высоты приемной катушки типа КПУ-1), а также минимальная (номинальная) величина индукции магнитного поля в зоне подвеса приемных катушек, сформированной под действием протекающего в рельсовой линии сигнального тока с номинальным действующим значением.

¹ Электровоз магистральный ЭП20. Руководство по эксплуатации. Книга 3. Описание и работа. Электрические машины ЗТС.085.003 РЭ2.

² Перегонные рельсовые цепи переменного тока 50 Гц с реле ИВГ-М числовой кодовой АБ для участков железных дорог с электротягой постоянного тока. РЦК50-ИВГ-М-ЭТ00-93.

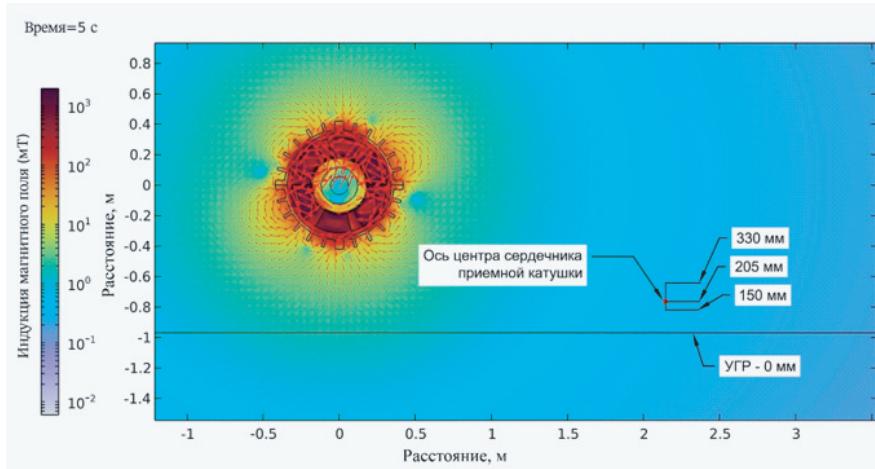


Рис. 2. Картина распределения электромагнитного поля от тягового асинхронного электродвигателя (в установившемся режиме через 5,0 с после начала моделирования)

На основе картины распределения электромагнитных полей был получен график зависимости модуля индукции $B_{\text{вэмп}}$ внешнего электромагнитного поля, формируемого при работе асинхронного двигателя, от геометрических параметров размещения приемной катушки (рис. 3).

На основе результатов компьютерного моделирования установлено, что амплитудное значение индукции электромагнитного поля, формируемого сигналным током номинального действующего значения на частоте 50 Гц, протекающим в рельсовой линии, составляет 2,32 мкТл, тогда как амплитудное значение индукции магнитного поля, формируемого асинхронным тяговым двигателем, по результатам моделирования в установившемся режиме варьируется в диапазоне от 340 до 1120 мкТл.

Полученные результаты позволяют судить о наличии в зоне подвеса приемных катушек внешнего электромагнитного поля асинхронного тягового двигателя с параметрами, достаточными для того, чтобы оказывать влияние на прием сигналов из рельсовой линии. При этом увеличение высоты подвеса катушки приводит к сокращению модуля индукции электромагнитного поля только на 1,1% на наибольшем возможном (по метельнику, 2,3 м) удалении от оси вращения асинхронного двигателя и на 13,8% при наименьшем возможном (по раме тележки, 1 м) удалении от оси вращения асинхронного двигателя. Увеличение расстояния между осями асинхронного двигателя и приемной катушки на 1,3 м позволяет снизить величину индукции магнитного поля на 64,3 – 69,5% в зависимости от высоты подвеса приемной катушки. Следует, однако, отметить, что такой результат получен без учета особенностей индуктивной связи между приемной катушкой и асинхронным

электродвигателем. Установление таких особенностей возможно экспериментально и требуется проведение дополнительных исследований.

Заключение

В результате выполнения работы с применением компьютерного моделирования в программной среде COMSOL Multiphysics, базирующейся на методе конечных элементов, были определены характеристики внешнего электромагнитного поля, формируемого в зоне подвеса приемных катушек при работе

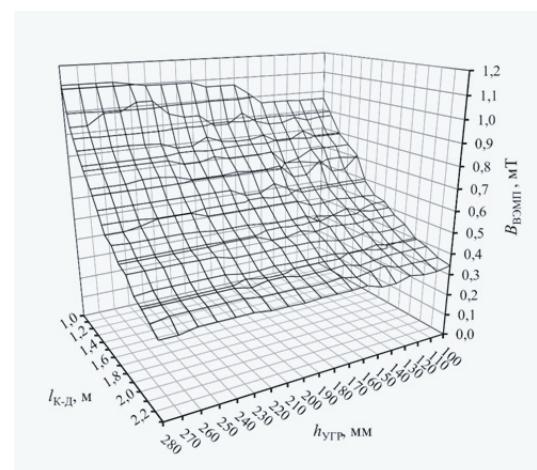


Рис. 3. График зависимости модуля индукции $B_{\text{вэмп}}$ внешнего электромагнитного поля, формируемого асинхронным тяговым двигателем, от геометрических параметров размещения приемной катушки: расстояния $l_{\text{к-д}}$ между осью вращения асинхронного тягового двигателя и осью приемной катушки и высоты подвеса приемной катушки относительно уровня головки ходового рельса $h_{\text{УГР}}$

асинхронного тягового двигателя. Получены следующие основные результаты:

1. Индукция внешнего электромагнитного поля, формируемого при работе асинхронного тягового двигателя существенно – в 140–480 раз – превышает величину индукции электромагнитного поля, формируемого сигнальным током номинального действующего значения на частоте 50 Гц, протекающим в рельсовой линии.

2. Зависимость величины индукции внешнего электромагнитного поля от высоты подвеса приемной катушки незначительна: с ростом высоты подвеса величина индукции сокращается. Зависимость величины индукции внешнего электромагнитного поля от

расстояния между осями асинхронного тягового двигателя и приемной катушки существенна. С ростом указанного расстояния величина индукции быстро убывает.

3. В ранее опубликованных исследованиях не раскрывается характер индуктивной связи силового оборудования электрического подвижного состава и приемных катушек основных устройств безопасности.

Требуется проведение дополнительных исследований, направленных на определение коэффициента связи между асинхронным тяговым двигателем и приемными катушками при различном их взаимном расположении для уточнения полученных результатов компьютерного моделирования.

Литература

1. Пульяков, А. В. Системный анализ устойчивости работы систем автоматической локомотивной сигнализации / А. В. Пульяков, М. Э. Скоробогатов. - Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - № 1(57). - С. 79-89.
2. Бахарева, М. Н. Расследование причин сбоев АЛСН и САУТ и пути их устранения / М. Н. Бахарева, И. В. Напортович. - Текст : непосредственный // Безопасность транспорта и сложных технических систем глазами молодежи : материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Иркутск, 10-13 апреля 2018 года. - Иркутск : Иркутский государственный университет путей сообщения, 2018. - С. 8-10.
3. Как повысить помехоустойчивость работы АЛС / А. К. Табунщиков, Ю. А. Барышев, Е. В. Горенбейн [и др.]. - Текст : непосредственный // Локомотив. - 2013. - № 4(676). - С. 32-33.
4. Кизименко, Л. И. О возникновении помех в локомотивных катушках АЛС от тяговых токов в асинхронных двигателях / Л. И. Кизименко, В. С. Кузьмин. - Текст : непосредственный // Безопасность транспорта и сложных технических систем глазами молодежи : Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Иркутск, 10-13 апреля 2018 года. - Иркутск : Иркутский государственный университет путей сообщения, 2018. - С. 103-105.
5. Ли, В. Р. Влияние электромагнитных полей на человека и мероприятия по защите от электромагнитного излучения / В. Р. Ли. - Текст : непосредственный // Обеспечение безопасности движения как перспективное направление совершенствования транспортной инфраструктуры : материалы международной студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 26 мая 2023 года. - г. Нижний Новгород : Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» в г. Нижнем Новгороде, 2023. - С. 95-100.
6. Арсланов, А. Р. Моделирование магнитных полей на электроподвижном составе / А. Р. Арсланов, А. Р. Закирова. - Текст : непосредственный // Инновационный транспорт - 2016: специализация железных дорог : материалы Международной научно-технической конференции, посвященная 60-летию основания Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, 17 ноября 2016 года / Ответственный за выпуск С. В. Бушуев. Выпуск 8 (227). - Екатеринбург : Уральский государственный университет путей сообщения, 2017. - С. 412-418.
7. Pat. 5501416 (US). Method and apparatus for inductively receiving cab signaling on board a railway vehicle. Capan Ronald R., 1996.
8. Pat. 5501417 (US). Noise cancellation in railway cab signal. Capan Ronald R., 1996.
9. Барышников, Н. С. Причины появления гармоник во внешнем магнитном поле в режиме выбега асинхронного электродвигателя / Н. С. Барышников, Д. А. Ладин, А. С. Страхов. - Текст : непосредственный // Энергия-2021 : тезисы докладов Шестнадцатой всероссийской (восьмой международной) научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 6 томах, Иваново, 06-08 апреля 2021 года. Том 3. - Иваново : Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2021. - С. 93.

10. Новоселов, Е. М. Исследование влияния эксплуатационных факторов на внешнее магнитное поле асинхронного электродвигателя / Е. М. Новоселов, Д. А. Полкошников. - Текст : непосредственный // Энергия-2018 : тринадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых : в 6 томах, Иваново, 03-05 апреля 2018 года / Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина», Академия электротехнических наук РФ. Том 3. - Иваново : Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2018. - С. 134-135.
11. Оценка энергии внешних электромагнитных помех частотно-регулируемых асинхронных двигателей / Ю. Б. Казаков, Е. А. Шумилов, А. В. Тамьяров [и др.]. - Текст : непосредственный // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. - 2017. - № 4. - С. 37-43.
12. Chen, S. Research on electromagnetic disturbance and its radiation level of an EMUs' traction inverter / S. Chen, J. Rao // 2017 7th IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies (MAPE). - Xi'an, China, 2017. - pp. 252-255.
13. Бадер, М. П. Анализ и синтез электромагнитной совместимости / М. П. Бадер, С. А. Сикирин. - Текст : непосредственный // Мир транспорта. - 2010. - Т. 8, № 3(31). - С. 36-40.
14. Методика определения параметров асинхронного двигателя / Ю. М. Кулинич, С. А. Шухарев, А. В. Каминский [и др.]. - Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. - 2021. - Т. 64, № 1. - С. 30-36.
15. Соболев, И. В. Использование метода конечных элементов для расчета конструкции электрических машин / И. В. Соболев, А. Р. Муракаев, Е. А. Шумилов. - Текст : непосредственный // Молодежная наука: вызовы и перспективы : материалы V Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Самара, 18-29 апреля 2022 года / Отв. редактор О. В. Карсунцева. - Самара : Самарский государственный технический университет, 2022. - С. 330-332.
16. Жилин, О. А. Применение методов численного моделирования при оценке потерь асинхронных тяговых электродвигателей / О. А. Жилин. - Текст : непосредственный // Наука. Технологии. Инновации : сборник научных трудов XVI Всероссийской научной конференции молодых ученых, Новосибирск, 05-08 декабря 2022 года. Часть 5. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2022. - С. 21-25.