

**ИНТЕГРАТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯГИ
МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА**

Поляков В. А., Хачапурдзэ Н. М.

Институт транспортных систем и технологий НАН
Украины, Днепрпетровск, Украина

Электро-механическое преобразование энергии линейным синхронным двигателем (ЛСД) магнитолевитирующего поезда (МЛП) может моделироваться с использованием теории электрических цепей, то есть – уравнений Кирхгофа, и теории магнитного поля, основанной на уравнениях Максвелла. Исходя из этого, были построены [1, 2] версии модели энергопреобразования, соответствующие таким парадигмам. Каждая из этих версий обладает как преимуществами, так и недостатками. Версия, базирующаяся на теории цепей, обладает широкими функциональными возможностями. В то же время, основным её недостатком является циклическая изменчивость коэффициентов уравнений в зависимости от положения муутера (подвижных частей) ЛСД. Это существенно затрудняет решение задач описываемой динамики, радикально снижая практическую ценность версии. Версия же, основанная на концепциях теории поля, менее ресурсоёмка, однако и менее практична. Последнее – следствие существенной ограниченности её общности, вызываемой неадекватностью исходных предположений при построении этой версии модели. Изложенное выявляет актуальность создания интегративной модели (ИМ) процесса реализации (ПР) тяговой силы (ТС) ЛСД МЛП, ассимилирующей достоинства имеющихся версий модели и максимально свободной от их недостатков. Построение такой ИМ является основной задачей настоящей работы.

Паттерном ТС ЛСД является взаимодействие тока, протекающего в элементе контура его индуктора, с полем, создаваемым токами якоря двигателя. Такое взаимодействие может быть описано выражением закона Ампера [3]:

$$f_{\lambda\chi} = l_{\lambda\chi} \cdot i_{\lambda} \cdot \tilde{B}_{\lambda\chi} \cdot \sin \alpha_{\lambda\chi}, \quad (1)$$

где $f_{\lambda\chi}$ – значение силы, действующей на χ -ый элемент λ -го контура индуктора двигателя;

$l_{\lambda\chi}, i_{\lambda}, \tilde{B}_{\lambda\chi}, \alpha_{\lambda\chi}$ – значения длины упомянутого элемента, тока в нём, индукции (условно однородного – в пределах элемента) магнитного поля, в котором элемент

находится, а также угла между \vec{l}_{λ} и $\vec{B}_{\lambda\chi}$. Полная ТС ЛСД в каждый момент времени определяется как геометрическая сумма $f_{\lambda\chi} \forall \lambda \in [1, N], \chi \in [1, 4]$, где N – число контуров индуктора ЛСД.

Динамика электрической подсистемы ЛСД может быть описана уравнениями второго закона Кирхгофа для электрически и магнитно-связанных его контуров [4]:

$$u_{\rho\kappa} \cdot e^{\kappa} = L_{\rho\nu} \cdot \dot{i}_{\rho} \cdot e^{\nu} + L_{\rho\nu\mu} \varepsilon \cdot \dot{i}_{\mu} \cdot e^{\nu} \cdot e^{\mu} \cdot e^{\varepsilon} + r_{\rho\gamma} \cdot i_{\rho} \cdot e^{\gamma}; \quad e^{\alpha} = 1 \forall \rho, \mu \in [1, \Lambda],$$

$$\kappa \in [1, K_{\rho}], \nu \in [1, N_{\rho}], \varepsilon \in [1, N_{\mu}], \gamma \in [1, \Gamma_{\rho}], \quad (2)$$

где $u_{\rho\kappa} L_{\rho\nu} L_{\rho\nu\mu} \varepsilon r_{\rho\gamma} \forall \rho, \mu \in [1, \Lambda], \kappa \in [1, K_{\rho}], \nu \in [1, N_{\rho}], \varepsilon \in [1, N_{\mu}], \gamma \in [1, \Gamma_{\rho}]$ – значения

электродвижущих сил (э. д. с.) источников, собственных и взаимных индуктивностей, а также омических сопротивлений описываемых контуров;

$i_{\rho}, i_{\mu} \forall \rho, \mu \in [1, \Lambda]$ – значения токов в этих контурах;

$\Lambda, K_{\rho}, N_{\rho}, \Gamma_{\rho}$ – числа тех же контуров, а также источников э. д. с., индуктивностей и омических сопротивлений в каждом ρ -ом из них.

Поле якоря найдено как суперпозиция полей его отдельных прямоугольных катушек [5]. Для максимизации качества создаваемой модели в целом, её компоненты, описывающие динамику электрической и магнитной подсистем двигателя, преобразованы к подвижной координатной системе, жёстко связанной с его муутером.

В качестве примера результатов реализации созданной модели приведена осциллограмма ТС ЛСД, описываемой этой моделью, в режиме разгона поезда.

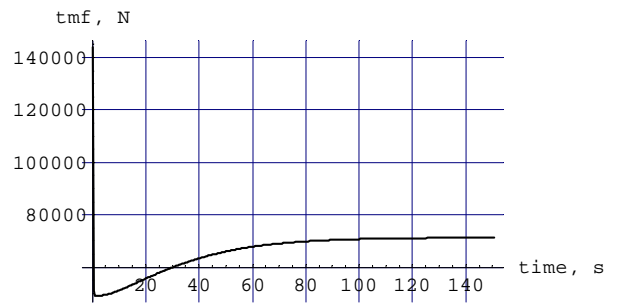


Рис. 1 Осциллограмма тяговой силы ЛСД МЛП

Анализ упомянутых результатов свидетельствует о работоспособности модели и её пригодности, после верификации и необходимой адаптации к нуждам конкретных практических задач, к использованию в процессе исследований динамики МЛП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дзензерский В. А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / В. А. Дзензерский, В. И. Омеляненко, С. В. Васильев, С. В. Матин, С. А. Сергеев – К.: Наук. думка, 2001. — 479 с.
2. Поляков В. А. Динамика тяговой подсистемы магнитолевитирующего поезда (полевая парадигма исследования) / В. А. Поляков, Н. М. Хачапурдзэ // Науковий вісник Херсонської морської академії – 2013. – № 1 (8). С. 258 – 266.
3. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф, А. К. Лебедев. — 8-е изд., перераб. и испр. — М.: ООО «Издательство Оникс»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2006. — 1056 с.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи – М.: Высш. шк., 1996. – 578 с.
5. Бирюков В. А. Магнитное поле прямоугольной катушки с током / В. А. Бирюков, В. А. Данилов // Журнал технической физики. – 1961. – Т. XXXI, № 4. – С. 428 – 435.