

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ТОКОПРОВОДЯЩИМ СЛОЕМ НА БЕГУНЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Голенков Г.М., к.т.н., доц., Веремеенко А.В.

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Украина, 03680, Киев, пр. Воздухофлотский, 31, КНУСА, кафедра "Электротехники и электропривода"

тел. (044) 241-55-65

Розглянуто конструкцію комутаційного апарату, приводом якого є коаксіально-лінійний асинхронний електродвигун з струмопроводним шаром на вторинному елементі і виконано оптимізацію його параметрів методом кінцевих елементів.

Рассмотрена конструкция коммутационного аппарата, приводом которого является коаксиально-линейный асинхронный электродвигатель с токопроводящим слоем на вторичном элементе и выполнена оптимизация его параметров методом конечных элементов.

ВВЕДЕНИЕ

Коммутационные аппараты широко применяются в стройиндустрии, на транспорте, в электроприводах дозаторов, в различных устройствах автоматики и т.д. В качестве исполнительных механизмов чаще всего используются приводы электромагнитной, пневматической и гидравлической систем. Данные аппараты имеют такие недостатки, как низкий коэффициент полезного действия, недостаточную надежность, ограниченность применения в труднодоступных местах объектов, связанных, например, с высокой температурой, агрессивной средой и влажностью.

Конструкция существующих коммутационных аппаратов с линейным асинхронным двигателем (ЛАД) [1, 2, 3] могли бы исключить перечисленные недостатки. Однако эти аппараты с приводом исполнительного механизма ЛАД недостаточно изучены. В связи с этим целью данной работы является расчет методом конечных элементов электромагнитного поля и сил в ЛАД с токопроводящим слоем на вторичном элементе (медным покрытием).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На рис. 1 изображена конструкция коаксиально-линейного асинхронного двигателя с токопроводящим слоем на вторичном элементе, который состоит из: корпуса статора 1, магнитопровода статора 2, зубцов статора 3, обмотки статора 4, трубы магнитопровода 5, токопроводящего слоя (медная труба) 6.

При подаче переменного тока на обмотку статора возникает бегущее магнитное поле, которое при взаимодействии с индуцируемыми токами во вторичном контуре (бегуне) вызывает электромагнитное усилие, которое приводит к перемещению бегуна.

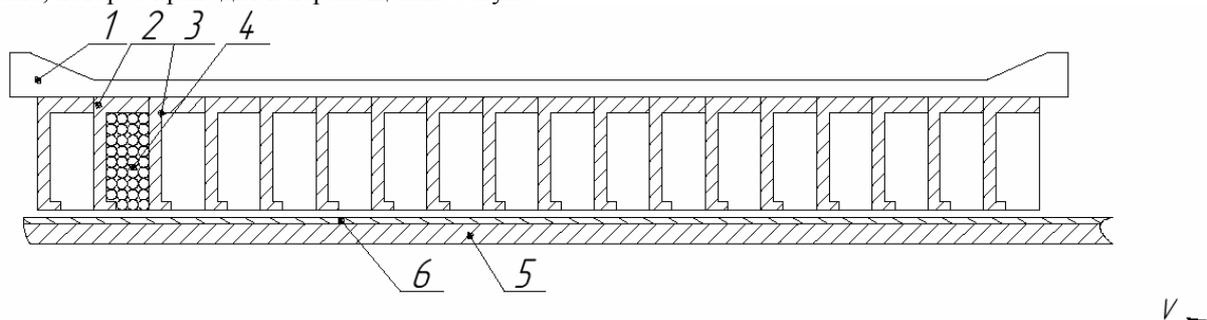


Рис. 1. Линейный асинхронный двигатель с токопроводящим слоем на бегуне

При проектировании такого типа ЛАД важной задачей является оптимизация конструктивных параметров бегуна двигателя, т.е. определение толщины стальной трубы и толщины медного покрытия.

В данной работе с целью получения конструктивных и энергетических параметров ЛАД с токопроводящим слоем на вторичном элементе необходимо провести исследования двигателя в заторможенном режиме. В работе на данном этапе исследуется двигатель при взаимодействии медного покрытия с бегущим полем статора.

Для анализа основных характеристик исследуемого двигателя в работе выполнялся численный расчет магнитного поля методом конечных элементов с помощью программы FEMM [4].

Задача решалась в осесимметричной постановке в цилиндрической системе координат в плоскости roz для векторного потенциала A , имеющего единственную φ -компоненту - $A = (0, A_\varphi, 0)$ в магнитоэстатическом приближении.

Из системы дифференциальных уравнений Максвелла для квазистационарного магнитного поля

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{J}, \quad \mathbf{B} = \operatorname{rot} \mathbf{A} \quad (1)$$

и уравнения состояния магнитного материала, записанного в виде:

$$\mathbf{B} = \mu_{\text{eff}}(\mathbf{B}) \cdot \mathbf{H}, \quad (2)$$

получим следующее уравнение для векторного потенциала:

$$\operatorname{rot} \times \left(\frac{1}{\mu_{\text{eff}}(\mathbf{B})} \operatorname{rot} \mathbf{A} \right) = -j\omega \sigma \mathbf{A} + \mathbf{J}_{\text{стр}}. \quad (3)$$

Здесь H - напряженность магнитного поля А/м, B - магнитная индукция, Тл, A - векторный потенциал, Вб/м², $J_{стр}$ - плотность тока в обмотке статора – полагается известной величиной, А/мм², $\mu_{eff}(B)$ - эффективная магнитная проницаемость, зависящая от B , j - мнимая единица, ω - угловая частота, рад/с, σ - электропроводность материала бегуна, Ом⁻¹.

Расчет величины электромагнитной силы, действующей на бегун, выполнялся на основании тензора натяжения Максвелла T согласно следующему выражению [5]:

$$F_{эм} = \int_S 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n \cdot T \cdot dS, \quad (4)$$

причем вычислялась осевая компонента силы. Здесь n - единичный вектор внешней нормали к поверхности бегуна S .

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

На рис. 2 показано распределение модуля магнитной индукции (а), модуля напряженности магнитного поля (б), модуля плотности электрического тока (в) в осевом сечении линейного асинхронного двигателя, а также распределение средневзвешенного тензора натяжения Максвелла (величины nT) в воздушном зазоре между бегуном и статором. Тонкими черными линиями показана действующая составляющая векторного магнитного потенциала, серыми – мнимая. Из картины распределения поля видно, что максимальное значение индукции достигается в угловых зонах и имеет значение около 1,9 Тл при токовой нагрузке 5 А/мм²; существует небольшой магнитный поток рассеяния.

На рис. 3 показан график распределения модуля магнитной индукции вдоль активной части бегуна в середине воздушного зазора между вторичным элементом и статором.

Неравномерное распределение магнитной индукции в средней части графика связано с Г-образным профилем полюсного концентратора на статоре.

Определяем максимальное тяговое усилие при изменении толщины медного покрытия с разрезанной и сплошной стальной трубой.

На рис. 4 показана оптимальная толщина медного покрытия, равная 2,2 мм, тяговое усилие при этом составляет максимальное значение 580 Н; при отсутствии медного покрытия тяговое усилие в начале координат значительно меньше. С увеличением толщины покрытия более чем 2,2 мм тяговое усилие снижается. В данной работе все графики рассчитывались в заторможенном режиме двигателя т.е. при скольжении, равном единице.

Анализируя рис. 5 (график зависимости тягового усилия от толщины стенки бегуна ЛАД), заметим, что тяговое усилие практически не изменяется при толщине стальной трубы, больше 1,5 мм, и медного покрытия, равного 2,2 мм.

Из-за конструктивных особенностей коммутационного механизма толщину стальной трубы бегуна принимаем равной 5 мм.

Исследования двигателя показали, что при перемещении бегуна (рис. 6), начиная с 50 мм, усилие без медного покрытия составляет 80÷180 Н, а с медным покрытием 150÷580 Н.

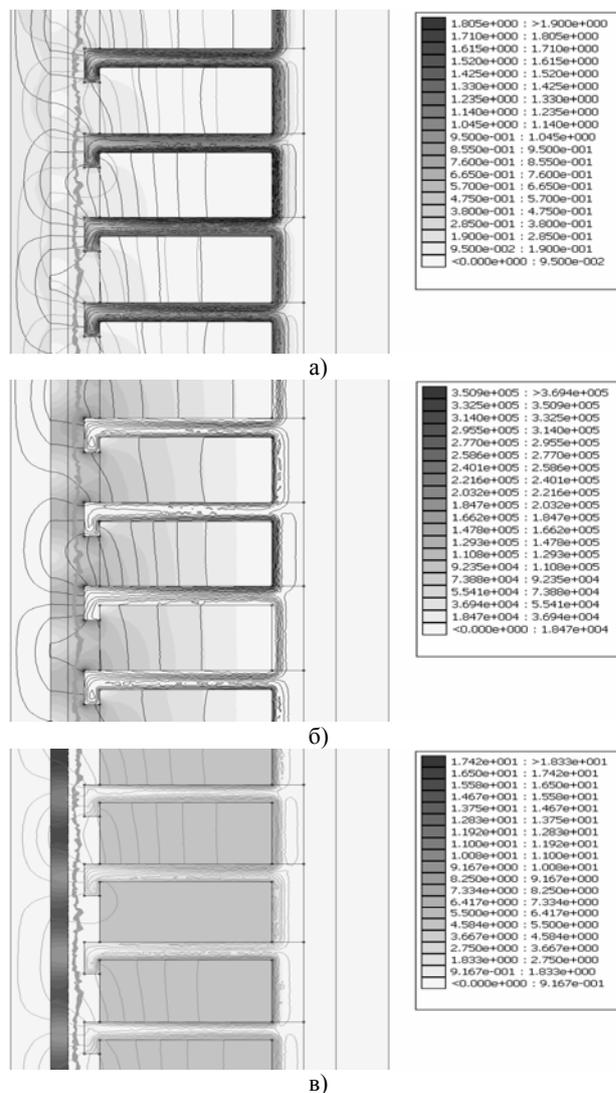


Рис. 2. Распределение модуля магнитной индукции (а), модуля напряженности магнитного поля (б), модуля плотности электрического тока (в) в осевом сечении линейного асинхронного двигателя

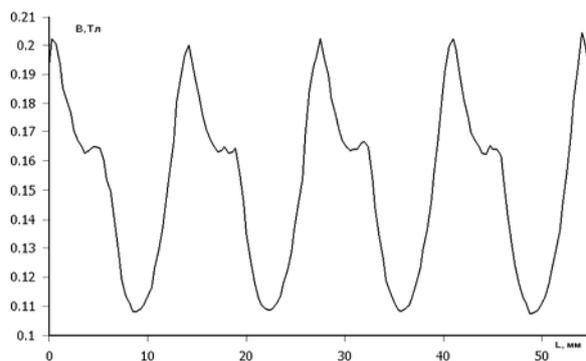


Рис. 3. Распределение по длине модуля магнитной индукции в середине воздушного зазора

Видно, что из-за наличия зубцов на статоре возникает пульсирующие силы, но благодаря медному покрытию они сглаживаются.

На рис. 7 видно, что при увеличении плотности тока до 15 А/мм² тяговое усилие возрастает приблизительно пропорционально квадрату тока, а выше этой величины линейно, что связано с явлением насыщения стали.

Следовательно, при расчете основных энергетических параметров двигателя следует рассчитывать плотность тока до 15 А/мм^2 . При кратковременном режиме работы максимальное тяговое усилие составляет 400 Н , что достаточно для коммутационных аппаратов такого класса [2,3].

ВЫВОДЫ

В работе исследовано влияние на величину электромагнитной силы ЛАД основных параметров его бегуна и показано, что:

- при толщине медного покрытия, равной $2,2 \text{ мм}$, тяговое усилие максимальное и составляет 580 Н ;
- при отсутствии медного покрытия тяговое усилие составляет 180 Н ;
- при разрезанной и сплошной стальной трубах, где толщина более $1,5 \text{ мм}$, тяговое усилие практически не изменяется и составляет 580 Н , при перемещении бегуна на 250 мм ;
- при проектировании двигателя толщина стальной трубы должна быть не менее $1,5 \text{ мм}$.

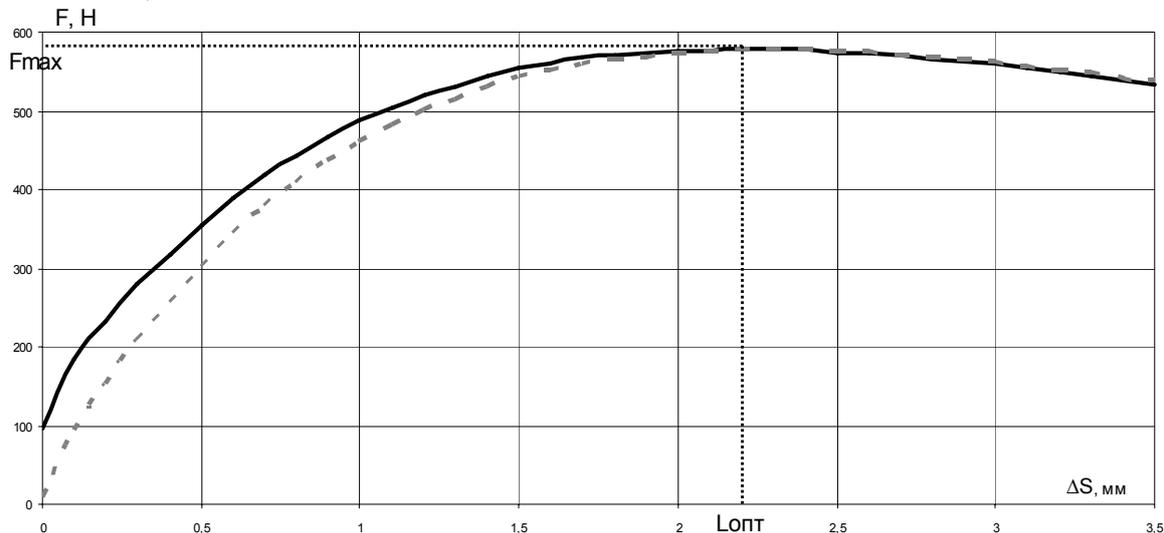


Рис. 4. Зависимость тягового усилия от толщины медного покрытия при разрезанной (пунктиром) и сплошной (черной) стальной трубе бегуна ЛАД

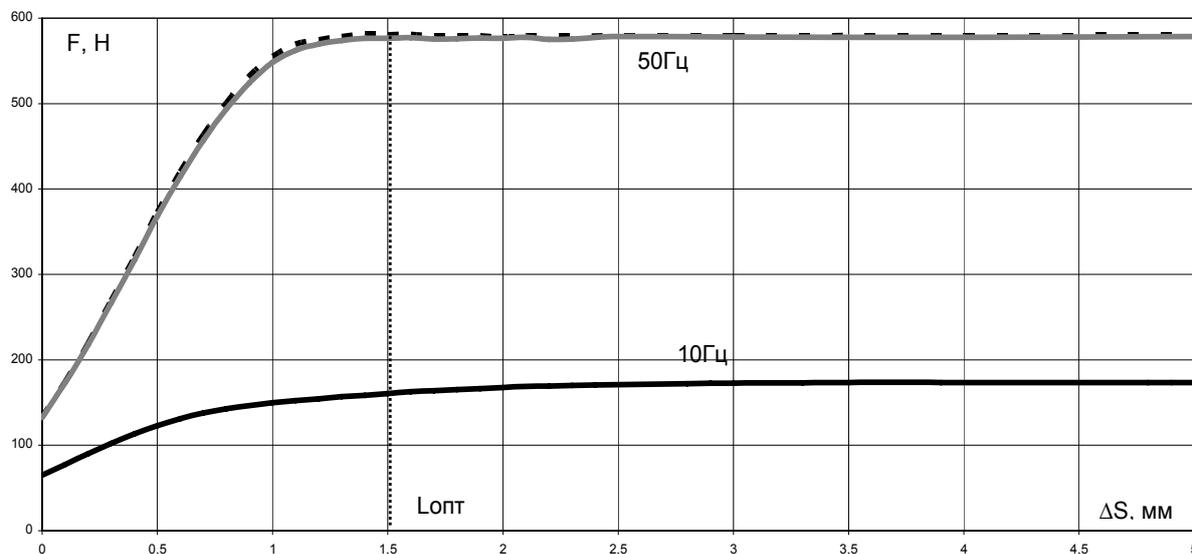


Рис. 5. Зависимость тягового усилия от толщины стенки стальной трубы бегуна ЛАД (разрезанной и сплошной)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Голенков Г.М., Веремеенко А.В. – Моделирование работы коммутационного аппарата с комбинированной обмоткой линейного асинхронного двигателя. - Луганск: Научный журнал, 2007г.
- [2] Богаенко Е.М., Богаенко М.В., Веремієнко А.В., Голенков Г.М., Попков В.С. Электродвигун зворотнопоступального руху. Деклараційний патент на корисну модель, заявка № а 2006 13644 від 22.12.2006.
- [3] Богаенко Н.В., Григоренко В.Н., Кукуруза П.В. Безредукторный привод на основе линейного электродвигателя для

- разъединителя системы электроснабжения метрополитенов. Метрополитен. ЦНИИТЭИ МПС, 1983. Бюл. №1.
- [4] <http://femm.foster-miller.net>
- [5] Шимони К. Теоретическая электротехника. Мир, 1964, 774 с.
- [6] Гольдберг О.Д. Проектирование электрических машин. М.: Высшая школа, 1984, 432 с.
- [7] Грудинский П.Г. Чиликин М.Г. Электротехнический справочник. Москва "Энергия". 1974.

Поступила 16.07.2007