УДК 621.313.333.821

Е.Е. РАБИНОВИЧ, студент гр. 5А1Л (НИ ТПУ)
Научный руководитель: Д.Ю. ЛЯПУНОВ, к.т.н., доцент (НИ ТПУ)
г. Томск

ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ МЕХАНИЗМОВ

В современном промышленном производстве около 50% серийных электродвигателей используются в механизмах с поступательным или возвратно-поступательным движением рабочего органа. Для преобразования вращательного движения в поступательное движение используются разнообразные механические устройства. Линейные электродвигатели дают непосредственное прямолинейное движение, поэтому разработки в области линейного электропривода ведутся в различных странах мира: США, Японии, Великобритании, Франции, Германии, Канаде, России. Линейные электроприводы позволяют реализовать требуемые траектории перемещения исполнительного органа без кинематических преобразователей вида движения, т.е. электродвигатели непосредственно связаны с рабочим механизмом. Это позволяет решить задачу максимального сочленения, сращивания источника механической энергии – двигателя и исполнительного механизма. Основными достоинством линейных электроприводов являются возможность «встраиваемости», снижения механических потерь, упрощения кинематической схемы, повышение надежности и точности управления [1]. Линейный асинхронный двигатель (ЛАД), можно мысленно представить, как вращательный асинхронный двигатель, корпус которого разрезан продольно и развернут в горизонтальную плоскость. Принцип действия линейных асинхронных двигателей аналогичен принципу работы асинхронных двигателей вращательного движения и определяется законами электромагнитной индукции. Линейный статор содержит первичную обмотку, а линейный сердечник ротора содержит вторичную обмотку. Бегущее магнитное поле, создаваемое первичной обмоткой, индуцирует переменные токи во вторичной обмотке; взаимодействие полей индуктора и вторичного элемента заставляет двигаться вторичный элемент, поэтому в качестве математического описания можно использовать математическое описание силового канала системы преобразователь – асинхронный электродвигатель, в неподвижной системе координат $\alpha\beta$, ориентированной по вектору потокосцепления ротора [1].

При проектировании систем управления линейными электроприводами основную сложность представляет математическое описание линейных асинхронных двигателей; на данный момент отсутствует простая методика его расчета. Это обусловлено необходимостью проектировать каж-

дый раз новый линейный асинхронный двигатель под конкретный исполнительный механизм, что вызвано непосредственной связью вторичного элемента ЛАД с рабочим органом.

Линейные асинхронные двигатели принято математически описывать при помощи одномерной, двумерной или трехмерной модели поля, в зависимости от требований к точности исполнительной системы и необходимости учета краевых, продольных и концевых эффектов. Наиболее полную картину процессов в различных зонах ЛАД дает трехмерная модель поля, поскольку реальное поле в машине является трехмерным, но учет все более тонких особенностей реального ЛАД ведет к усложнению расчетной модели, получению неудобных для анализа результатов. Основные и наиболее существенные характеристики электромагнитных процессов в двигателе могут быть выяснены на основе упрощенной одномерной модели поля; одномерная теория дает наглядную физическую картину и приемлемую во многих случаях точность расчета [1].

Для исследования ЛАД сделаем модель на основе асинхронного электродвигателя, в неподвижной системе координат αβ, ориентированной по вектору потокосцепления ротора. В процессе моделирования нами были приняты следующие допущения [2]:

− считаются заданными мгновенные значения напряжения и тока статора и ротора;

− начальная скорость ротора в установившемся режиме задана и является постоянной;

− ускорение в установившемся режиме равно нулю;

− магнитная цепь машины не насыщена, потокосцепление с фазами статора и ротора выражаются через токи фаз и соответствующие индуктивности;

− не учитывается влияние краевых эффектов.

Для исследования ЛАД воспользуемся уравнениями обобщенной электрической машины в неподвижной системе координат $\alpha\beta$ (1) [3].

$$\begin{cases} U_{s\alpha} = i_{sd} \cdot R_{s\alpha} + \dfrac{d\psi_{s\alpha}}{dt}; \\ U_{s\beta} = i_{s\beta} \cdot R_{s\beta} + \dfrac{d\psi_{s\beta}}{dt}; \\ U_{r\alpha} = i_{r\alpha} \cdot R_{r\alpha} + \dfrac{d\psi_{r\alpha}}{dt} - \upsilon \cdot \psi_{r\beta}; \\ U_{r\beta} = i_{r\beta} \cdot R_{r\beta} + \dfrac{d\psi_{r\beta}}{dt} + \nu \cdot \psi_{r\alpha}; \end{cases} \quad (1)$$

где $U_{s\alpha}, U_{s\beta}, U_{r\alpha}, U_{r\beta}$ – напряжение питания двигателя приведенные к осям координат; $i_{s\alpha}, i_{s\beta}, i_{r\alpha}, i_{r\beta}$ – приведенные токи двигателя индуктора и вторичного элемента; $R_{s\alpha}, R_{s\beta}, R_{r\alpha}, R_{r\beta}$ – активные сопротивления индуктора и вторичного элемента; $\psi_{s\alpha}, \psi_{s\beta}, \psi_{r\alpha}, \psi_{r\beta}$ – потокосцепления индуктора и вторичного элемента; v – линейная скорость вторичного элемента.

На вторичный элемент ЛАД будет действовать сила, создаваемая электромагнитными полями индуктора и вторичного элемента. Силу можно определить по выражению:

$$F = (3/2) \cdot \frac{\pi}{\tau \cdot p} \cdot (\psi_{s\alpha} \cdot i_{s\beta} - \psi_{s\beta} \cdot i_{s\alpha}) \qquad (2)$$

где τ – полюсное деление двигателя; p – количество полюсов.

Уравнение движения линейного двигателя имеет вид:

$$F - F_C = m \cdot \frac{dv}{dt} \qquad (3)$$

где F_C – сила сопротивления; m – масса вторичного элемента.

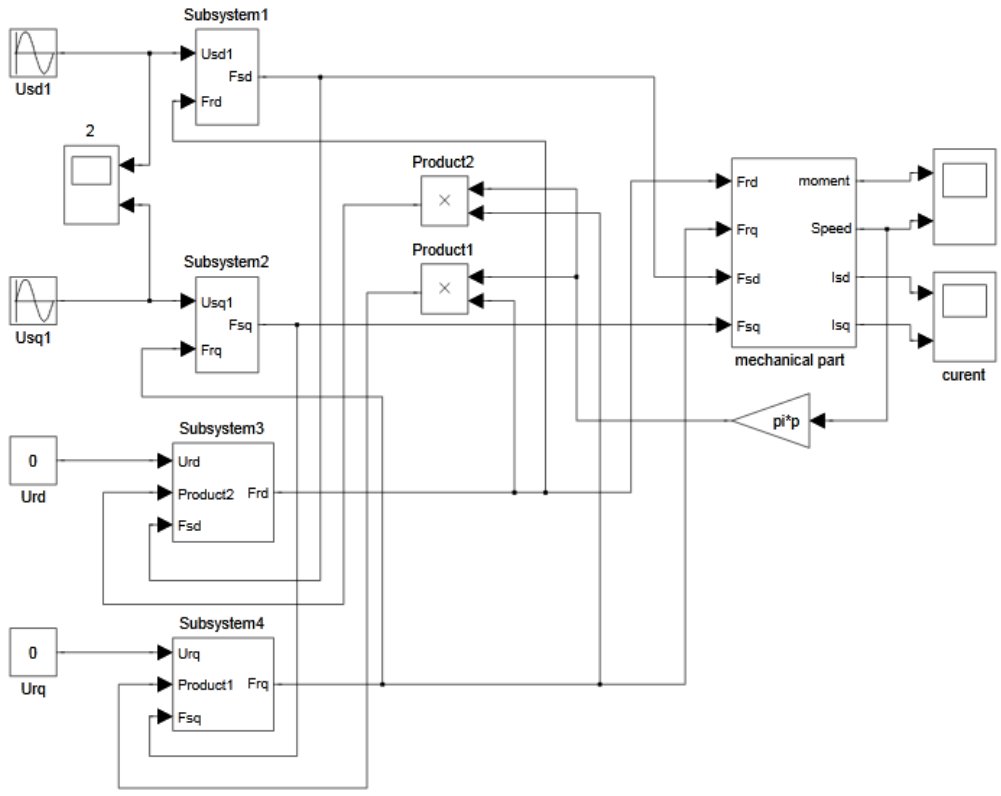

Рис. 1. Схема математической модели ЛАД в среде Simulink

В качестве примера возьмем технические параметры ЛАД, которые приведены в табл. 1 [2].

Таблица 1

f, Гц	R_s, Ом	R_r, Ом	L_s, Гн	L_r, Гн	L_m, Гн	p	m, кг	τ, м
50	0.0705	0.1311	0.0048	0.0048	0.0039	10	351	0.2

На основании выше изложенных формул, описывающих работу ЛАД (2…4) и параметров двигателя была создана математическая модель линейного двигателя в среде Simulink, схема представлена на рис. 1.

Графики переходных процессов ЛАД представлены на рис. 2–4:

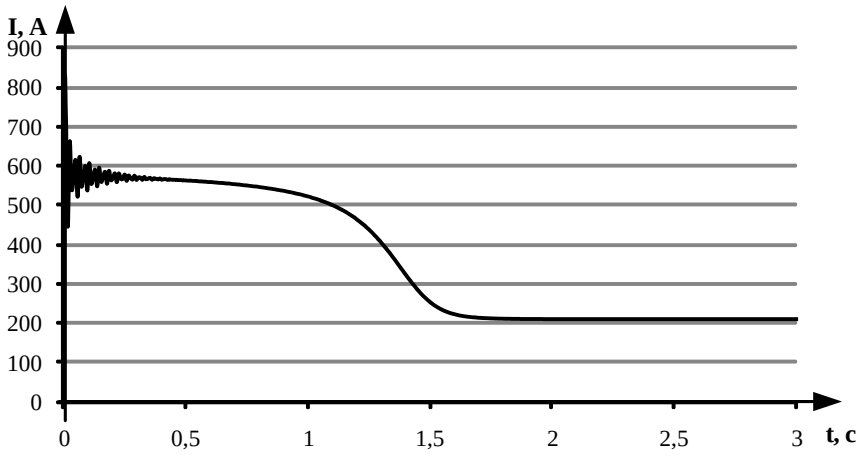

Рис. 2. Переходный процесс тока I при пуске

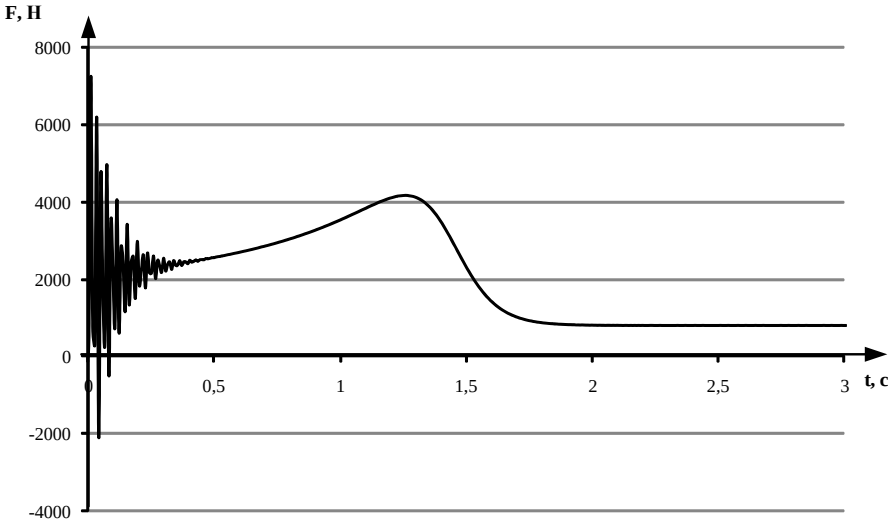

Рис. 3. Переходный процесс усилия *F* создаваемого двигателем при пуске

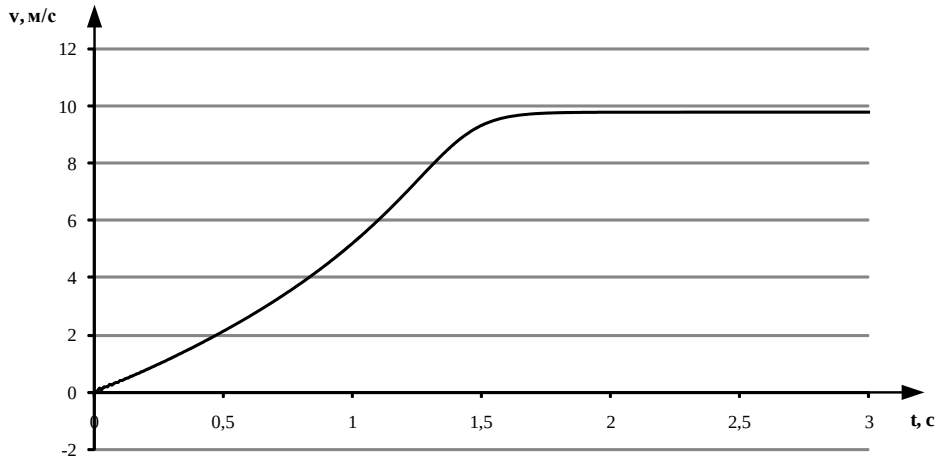

Рис. 4. Переходный процесс линейной скорости v двигателя при пуске

Математическая модель является адекватной, т.к. полученные графики переходных процессов полностью совпадают с [4]. Время пуска составляет 1,5 с. Особенностью линейных двигателей является большая инерция (масса) при малом моменте сопротивления, т.к. основная задача ЛАД – перемещение объектов (транспорт). Механическая характеристика линейного асинхронного двигателя, рассчитанная в математической системе Mathcad, представлена на рис. 5 [5].

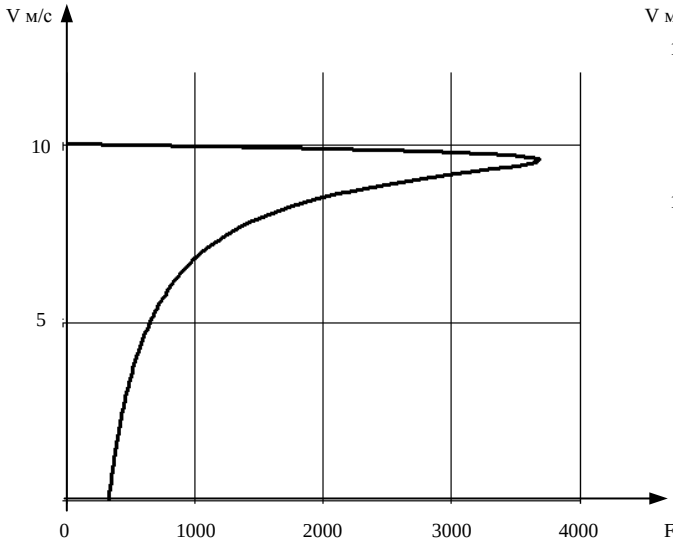

Рис. 5. Механическая характеристика двигателя

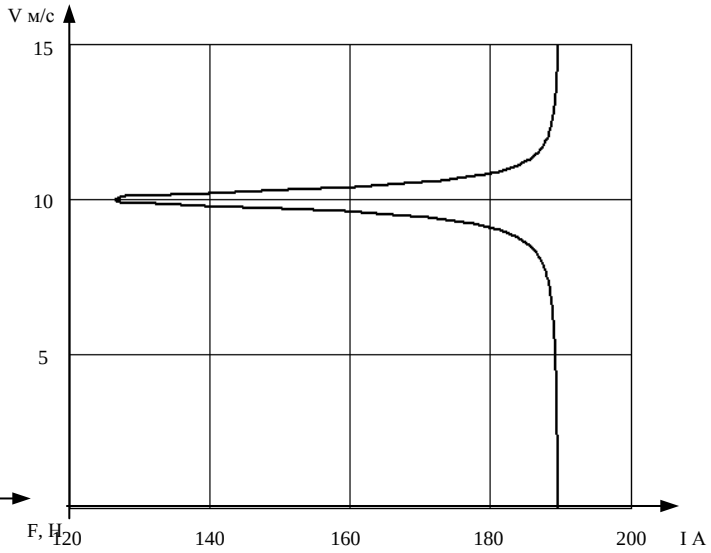

Рис. 6. Электромеханическая характеристика двигателя

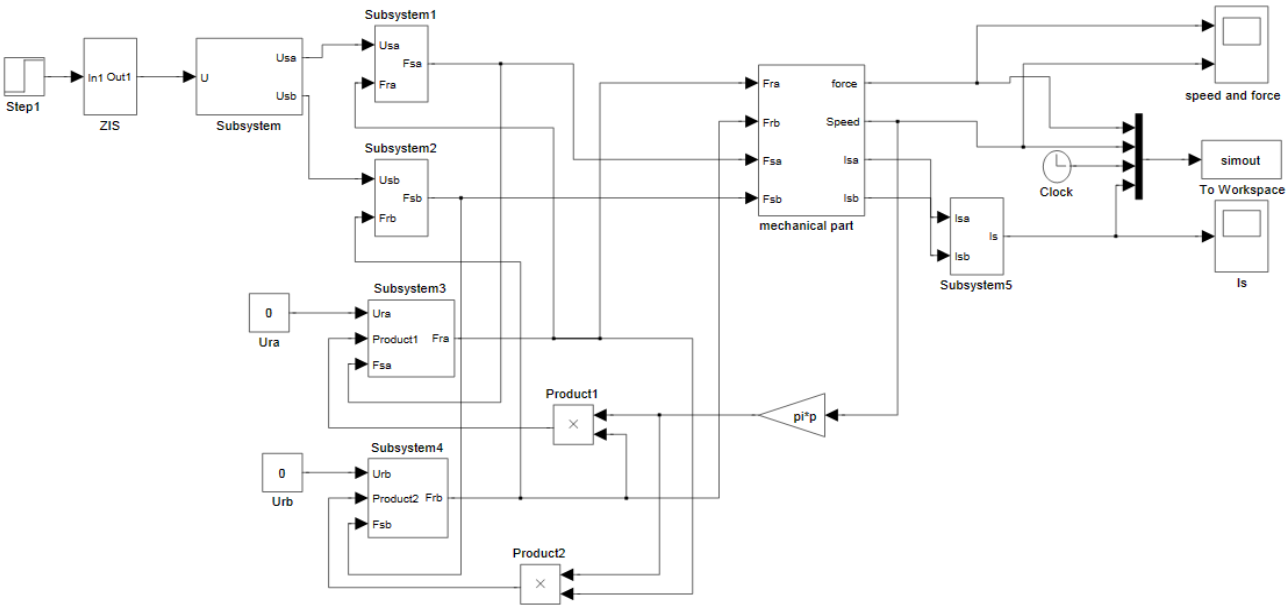

Рис. 7. Модель системы скалярного управления ЛАД

Переходные процессы представлены на рис. 8.

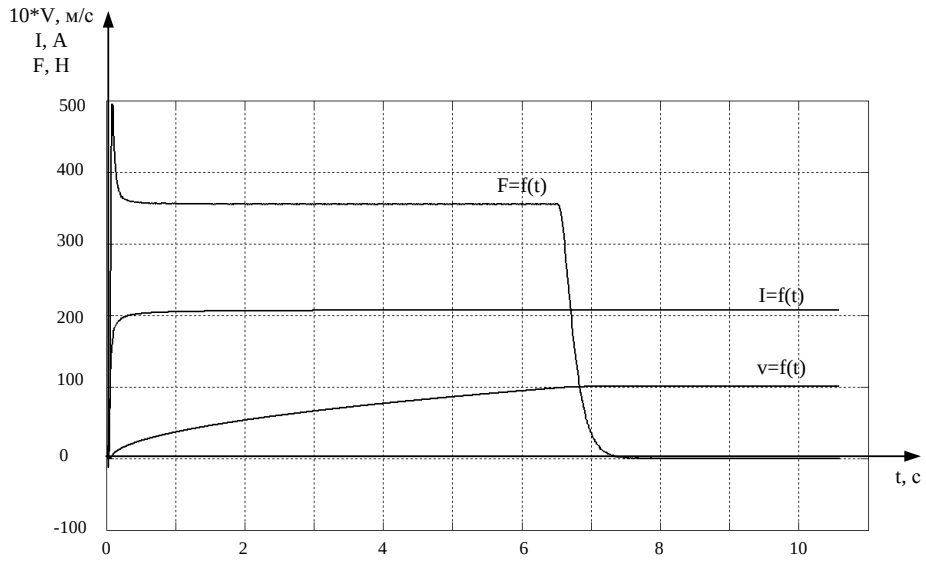

Рис. 8. График переходных процессов скорости, тока и усилия

Электромеханическая характеристика линейного асинхронного двигателя, рассчитанная в математической системе Mathcad, представлена на рис. 6 [5]. На основании вышеприведенной математической модели линейного асинхронного двигателя построим систему скалярного управления, приведенную на рис. 7 [5].

Выводы. Разработана математическая модель линейного асинхронного двигателя. Составлены дифференциальные уравнения, описывающие

двигатель в динамических режимах. Результаты имитационного моделирования являются адекватными и схожими с эталонной моделью. Наибольшую погрешность в разработанную модель линейного двигателя вносят допущения, связанные с краевыми эффектами.

Список литературы:

1. Вунна, Шве. Линейный асинхронный двигатель быстродействующих механизмов / Шве Вунна. – М., 2008. – 17 с.

2. Иванов-Смоленский, А. В. Электрические машины: учеб. для вузов / А. В. Иванов-Смоленский. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 652 с.

3. Копылов, И. П. Математическое моделирование электрических машин: учеб. для вузов / И. П. Копылов. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.

4. Ye Yunyue1. Modeling and Simulation of Field Oriented Controlled Large Air-gap Linear Induction Motor Wang // Proceedings of the 26th Chinese Control Conference. – Zhangjiajie, Hunan, China, 2007. – С. 87-91.

5. Чернышев, А. Ю. Электропривод переменного тока: учеб. пособие / А. Ю. Чернышев, Ю. Н. Дементьев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета , 2011. – 213 с.