

СИМУЛАЦИОННО РЕАЛИЗИРАНЕ НА МОДЕЛ НА ЛИНЕЕН АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ С ОТЧИТАНЕ НА КРАЕВИТЕ ЕФЕКТИ В SIMULINK СРЕДА

Божидар Марков

*Университет по хранителни технологии-Пловдив
Технически факултет, катедра АИУТ
4002 Пловдив, бул. "Марица" №26, България
E-mail: bojmarkov@abv.bg*

SIMULATION DEVELOPMENT OF MODEL OF LINEAR INDUCTION MOTOR WITH END EFFECTS IN SIMULINK ENVIRONMENT

Bojidar Markov

*University of food technologies-Plovdiv
Technical faculty, department AICT
4002 Plovdiv, 26 Maritsa Blvd.,
E-mail: bojmarkov@abv.bg*

ABSTRACT

In the present article is shown a simulation model of linear induction motor, considering the end effects. The end effects occur as an opening electromagnetic system of the motor. This model can be used in the study of electromechanical systems.

Keywords: linear induction motor, simulation development, linear speed

УВОД

Линейните двигатели намират приложение в автоматиката, роботизираните системи, придвижването на транспортни системи в металургията, поточните линии и системите от тип Maglev [8]. Поради отворената електромагнитна система на линейните двигатели се получават допълнителни динамични натоварвания при придвижването. Допълнително при придвижването се появяват тъй наречените краеве радиални ефекти, са вследствие на допълнителните електромагнитни загуби и динамичните разсейвания на енергията в радиално направление. Появата на допълнителни колебания може да доведе до нежелателни демфирания в различни производствени приложения [2]. Използването на синхронни линейни двигатели в значителна степен намалява динамичните натоварвания, но това е за сметка на използването на допълнителни постоянни магнити, което в значителна степен оскъпява технологичното оборудване. В последно време цената на постоянните магнити значително намаля на световните пазари, но въпреки това, цената на този тип електромеханична система е неоправдана за редица индустриални приложения [1,6]. При линейните асинхронни двигатели отсъстват допълнителни постоянни магнити. За да се намалят динамичните натоварвания в тези системи се използва двойна електромагнитна възбудителна система (първични намотки), което прави не рентабилно използването им от икономична гледна точка [3]. Изследването на възможността за приложението на линейни асинхронни двигатели за промишлени приложения започва от средата на 20 век [3], но поради сложността на гореспоменатите трудности, все още не е намерило масово приложение с изключение на влаковите системи от тип Maglev.

ЦЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Целта на настоящата статия е да предложи симулационен модел на линеен асинхронен двигател, построен на блоковия принцип и отчитащ краевите радиални ефекти.

СЪЩНОСТ НА МОДЕЛА

В [4] е показан динамичен математичен модел на линеен асинхронен двигател отчитащ краевите радиални ефекти, изобразен в синхронна d, q координатна система има следния вид:

$$u_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\lambda_{qs}}{dt} + \omega_e \lambda_{ds} \quad (1)$$

$$0 = R_r i_{dr} + R_r f(Q)(i_{ds} + i_{dr}) - (\omega_e - \omega_r) \lambda_{qr} \quad (2)$$

$$0 = R_r i_{qr} + \frac{d\lambda_{qr}}{dt} + (\omega_e - \omega_r) \lambda_{dr} \quad (3)$$

$$\lambda_{ds} = L_s i_{ds} + L_m (1 - f(Q))(i_{ds} + i_{dr}) \quad (4)$$

$$\lambda_{qs} = L_s i_{qs} + L_m (i_{qs} + i_{qr}) \quad (5)$$

$$\lambda_{dr} = L_r i_{dr} + L_m (1 - f(Q))(i_{ds} + i_{dr}) \quad (6)$$

$$\lambda_{qr} = L_r i_{qr} + L_m (i_{qs} + i_{qr}), \quad (7)$$

където: u_{ds}, u_{qs} - са напреженията подавани в първичната намотка в d-q синхронна координатна система; i_{ds}, i_{qs} - токовете в първичната намотка изобразени в d-q синхронна координатна система; i_{dr}, i_{qr} - токовете в слайдера (вторичната намотка) изобразени в d-q синхронна координатна; $\lambda_{ds}, \lambda_{qs}$ - потокосцепленията на първичната намотка изобразени d-q синхронна координатна система; $\lambda_{rd}, \lambda_{rq}$ - потокосцепленията на слайдера изобразени d-q синхронна координатна система; R_s, R_r - активните съпротивления в линейния асинхронен двигател; L_m - взаимната индуктивност в линейния асинхронен двигател; L_s, L_r - индуктивността в първичната намотка и слайдера; L_{ls}, L_{lr} - индуктивността на разсейване в първичната намотка и слайдера. ω_e, ω_r - ъгловите скорости на въртящите се магнитни полета в слайдера и първичната намотка. Ъгловите скорости на въртящите се магнитни полета в слайдера и първичната намотка в линейния асинхронен двигател имат следния вид[4,5]:

$$\omega_e = 2\pi f \quad (8)$$

$$\omega_r = \frac{\pi}{\tau} v_r, \quad (9)$$

където: τ - стъпка на полюсните деления; f - честотата на захранващото напрежение; v_r - линейната скорост на придвижване на слайдера.

В динамичните уравнения се използва $f(Q)$, който отчита краевите радиални ефекти и има стойност:

$$f(Q) = \frac{1 - e^{-Q}}{Q}, \quad (10)$$

където:

$$Q = \frac{DR_r}{(L_m + L_{lr})v} \quad (11)$$

В (10) и (11) има следните обозначения: P - са обозначени броя чифтове полюси; D - дължината на първичната намотка; Q - фактор отговарящ на дължината на първичната намотка.

Електромагнитната линейна сила в линейния асинхронен двигател има следния вид:

$$F_e = \frac{3 \pi P}{2 \tau 2} (\lambda_{ds} i_{qs} - \lambda_{qs} i_{ds}), \quad (12)$$

Уравнението описващо движението електрозадвижването с линейен асинхронен двигател има вида:

$$F_e - F_L = \frac{1}{M} \frac{dv}{dt}, \quad (13)$$

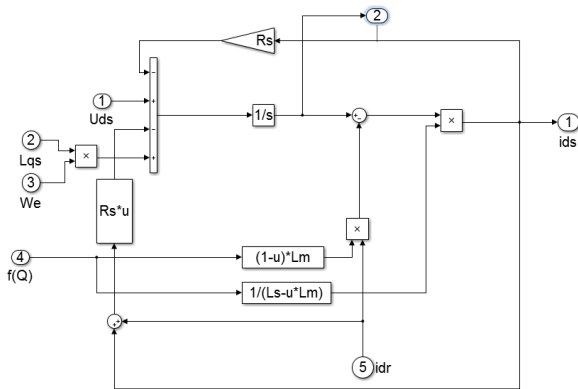
където: M - масата на слайдера; F_L - външно натоварване.

СИМУЛАЦИЯ НА ЛИНЕЕН АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ В SIMULINK СРЕДА

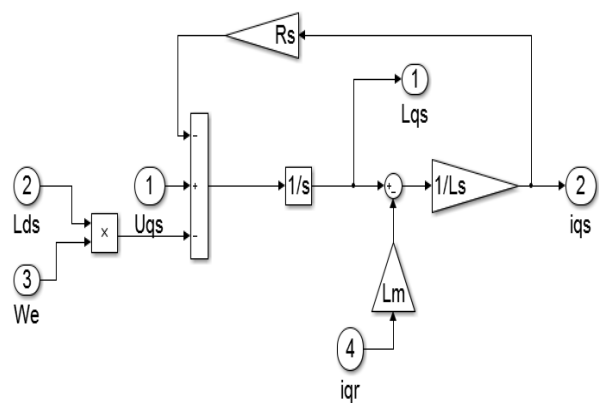
Параметрите на линейния асинхронен двигател използван при симулацията са:

брой чифтове полюси- $P=4$; $R_s = 0,357 \Omega$; $R_r = 0,618 \Omega$; $D = 2,8 \text{ mm}$; $L_m = 95,18 \text{ mH}$; $L_s = 110,3 \text{ mH}$; $L_r = L_s$; $\tau = 1,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}$; ширина на първичната намотка $48 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; въздушна междина между първичната намотка и слайдера $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; маса на слайдера $M = 30 \text{ kg}$ [7].

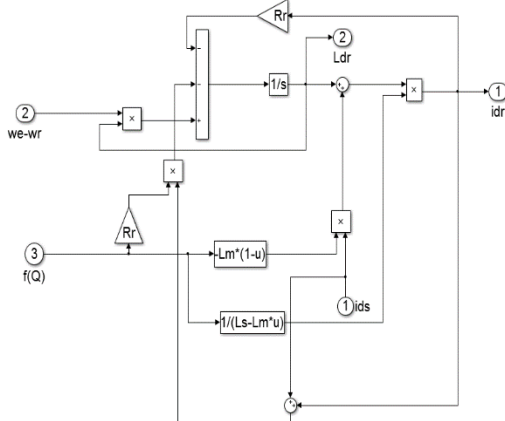
Симулационният модел е построен на базата на уравнения (1-12) като отделни блокове. Реализацията е показана на фигури (1-4).



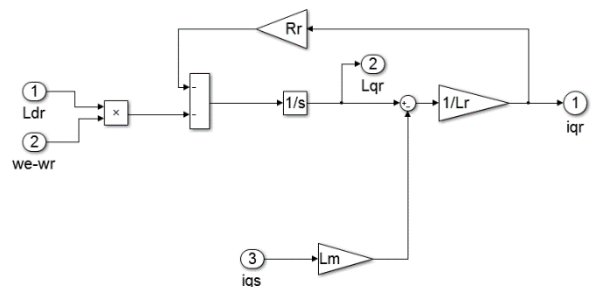
а) реализация на уравнения (1) и (4)



б) реализацията на уравнения (2) и (6)

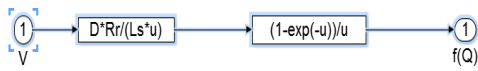


в) реализация на уравнения (3) и (7)

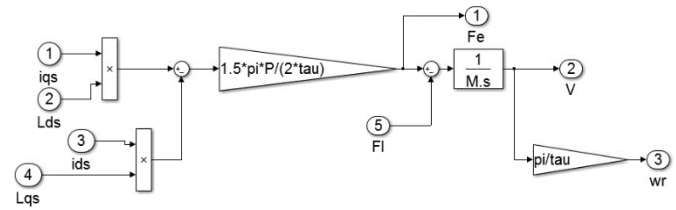


г) реализация на уравнения (4) и (8)

Фиг. 1. Симулационна реализация на уравненията. а), б)-за d координатна ос; в), г)-за q координатна ос

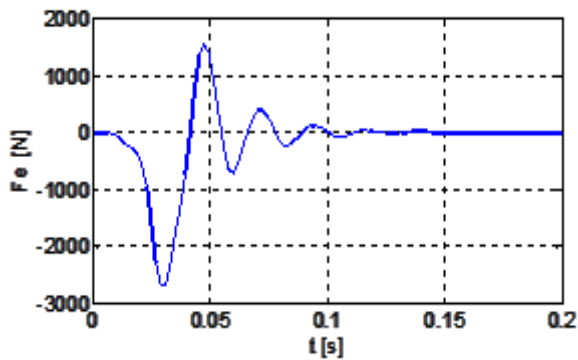


Фиг.2. Реализация на уравнения (10) и (11)

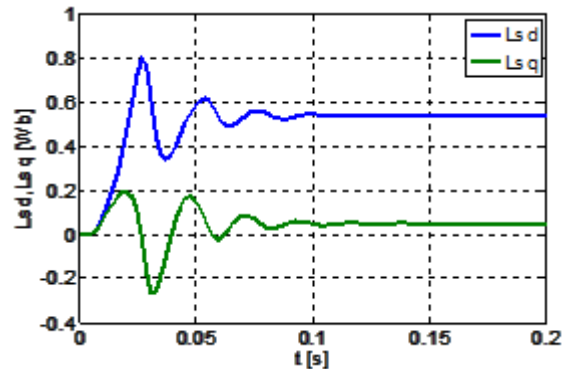


Фиг.3.Реализация механичните на уравнения (12-13)

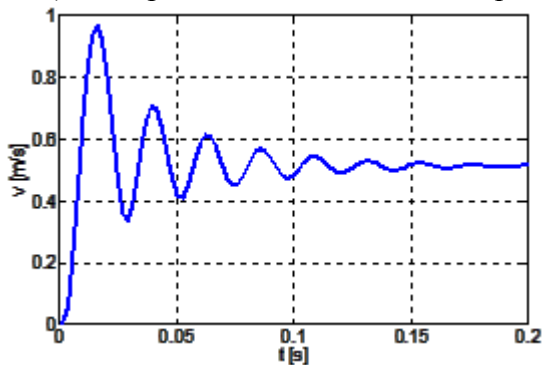
На фиг.4 са показани резултатите от симулацията на при отсъствие на външно натоварване. На фиг.5 са показани резултатите при наличие на външно натоварване $F_L = 2000 N$.



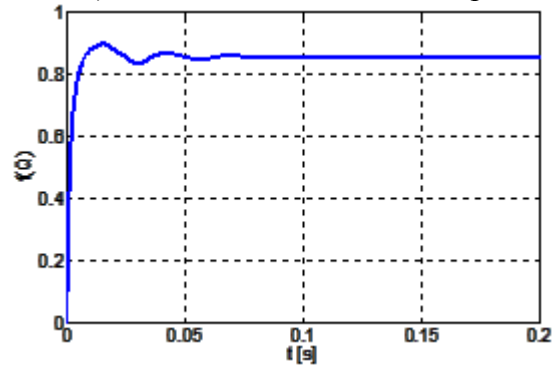
а) електромагнитна сила без товар



б) потокосцепления без товар

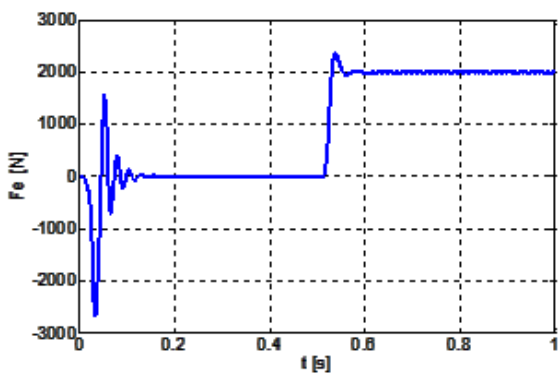


в) линейна скорост на слайдера без товар

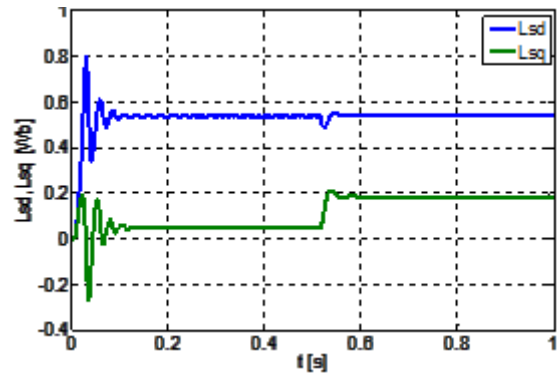


г) Изменение на $f(Q)$ без товар

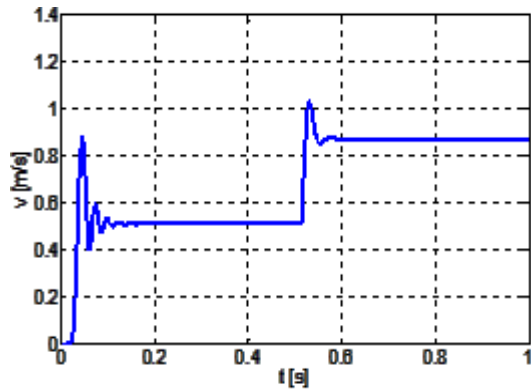
Фиг. 4 Резултати от симулацията на линеен асинхронен двигател с отчитане на краевите ефекти без товар



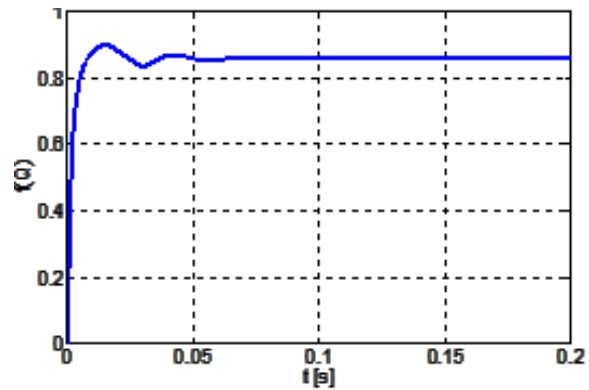
а) електромагнитната сила при натоварване



б) потокосцепленията при натоварване



в) електромагнитната сила при натоварване

г) изменение на $f(Q)$ при натоварване

Фиг.5 Линеен асинхронен двигател с отчитане на краевите ефекти при натоварване с товар на 0,5 секунда от пускането

Резултатите от симулацията показват, че влиянието на краевите ефекти са най-силно изразени в момента на пускането на двигателя. При натоварване на линейния асинхронен двигател скоростта на придвижване на слайдера е стабилна. Най-силно влияние на краевите ефекти се наблюдава при електромагнитната сила в момента на пускане. Този динамичен симулационен модел може да бъде използван при проектирането на реални практически приложения.

Заклучение

В настоящата статия е разработен симулационен модел на линеен асинхронен двигател с отчитане на краевите ефекти в двигателя. Показано е модулно построяване на този вид модел в Simulink среда. Изследвано е симулационно влияние на краевите ефекти върху работата на линейния асинхронен двигател.

ЛИТЕРАТУРА

1. Божидар Георгиев Марков, „Симулационен динамичен модел на система линеен асинхронен двигател с постоянни магнити задвижващ гъвкав товар“, Научни трудове, том LX, „Хранителна наука, техника и технологии-2013“, 18-19 октомври 2013, Пловдив, стр. 211-216.
2. Попов И. „Теоретично изследване на моделиране демфирането на полимерни композити. Част 1. Импулсно възбуждане при едномасов модел.“, Journal of the Technical University-Sofia Plovdiv branch, Bulgaria, Fundamental Sciences and Applications”, ISSN 1310-8171, том 18, 2012, 59-66.
3. Соколов М.М., Сорокин Л.К. „Электропривод с линейными асинхронными двигателями“, М., Энергия, 1974.
4. Haroutuon A. Hairik, Mohammed H. Hassan, „Dynamic Model of linear Induction Motor Considering the End Effects“, Iraq J. Electrical and Electronic Engineering, Vol.5 No.1 , 2009, pp.38-50.
5. Nasar, S. A., and Boldea, I., , Linear Electric Motors: Theory, Design, and Practical Applications, Prentice-Hall, 1987, New Jersey.
6. Permanent Magnets. - Financial Results & Limited Review for Dec 31, 2012 Mon, 14 Jan 2013
7. http://www.hiwin.com/pdf/lm/linear_motors.pdf
8. <http://www.magnemotion.com>