

INVESTIGATION OF AN INDUCTION MOTOR IN DYNAMIC MODE⁸⁴

Assoc. Prof. Anka Krasteva, PhD

Faculty of Electrical Engineering, Electronics and Automation,
“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: 082-888 659

E-mail: akrasteva@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Donka Ivanova, PhD

Faculty of Electrical Engineering, Electronics and Automation,
“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: 082-888 266

E-mail: divanova@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Vyara Ruseva, PhD

Faculty of Electrical Engineering, Electronics and Automation,
“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: 082-888 659

E-mail: vruseva@uni-ruse.bg

Abstract: *The article presents the dynamic operating mode of an induction motor in the Matlab/Simulink environment, using a suitable virtual test bench. It shows the effect of the load torque applied to the shaft of an induction motor shaft on the change in electromagnetic torque, rotation frequency, and current through its stator winding. For the purposes of the study, an M-file containing the parameters of the studied motor, obtained through a genetic algorithm, was developed in the Matlab environment.*

Keywords: *Model, Simulink, Induction motor*

ВЪВЕДЕНИЕ

Асинхронните двигатели са широко използвани в промишлеността, поради ниската си цена, надеждност и висока ефективност (О. Е. - S. Mohammed Youssef, 2018). За изследване статичните и динамични режими на работа на електрическите машини се използва програмният пакет Matlab/Simulink (Ekor Ubong Sebastian, Ekom Enefiok Okpo and Imo Edwin Nkan, 2024; Sang – Hoon Kim, 2017; Le Roux, P.F., Ngwenyama, M.K., 2022; Черных И. В., 2008).

Симулационните модели в тази среда повтарят структурата на реалните обекти, разработват се на база на стандартни блокове от голяма библиотека и по своята същност представляват виртуални лабораторни стендове. Те позволяват да се провеждат експерименти по същия начин, както с реалните изпитвани обекти, посредством изследване изменението на изходните сигнали при различни входни въздействия (Христова М., 2013).

Целта на разработката е да се изследва динамичният режим на работа на трифазен асинхронен двигател в средата на **Matlab/Simulink** чрез подходящ виртуален стенд.

⁸⁴ Докладът е представен пред секция „Природоматематически и технически науки“ на 64-тата научна конференция на Русенския университет „Ангел Кънчев“ и Съюза на учените-Русе на 17 октомври 2025 година с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ В ДИНАМИЧЕН РЕЖИМ

ИЗЛОЖЕНИЕ

Математическият двуфазен q-d модел на електрическата част на асинхронен двигател (АД) се описва със следната система диференциални уравнения за напреженията, съставени на базата на теорията на обобщената двуфазна машина (Sang – Hoon Kim, 2017; Христова М., 2013):

$$\begin{aligned} U_{sd} &= R_s i_{sd} + \frac{d\psi_{sd}}{dt} - \omega \psi_{sq} \\ U_{sq} &= R_s i_{sq} + \frac{d\psi_{sq}}{dt} + \omega \psi_{sd} \\ U'_{rd} &= R'_r i'_{rd} + \frac{d\psi'_{rd}}{dt} - (\omega - \omega_r) \psi'_{rq} \\ U'_{rq} &= R'_r i'_{rq} + \frac{d\psi'_{rq}}{dt} + (\omega - \omega_r) \psi'_{rd}, \end{aligned} \quad (1)$$

уравнението за електромагнитния момент

$$M = 1,5p(\psi_{sd} i'_{sq} - \psi_{sq} i'_{sd}) \quad (2)$$

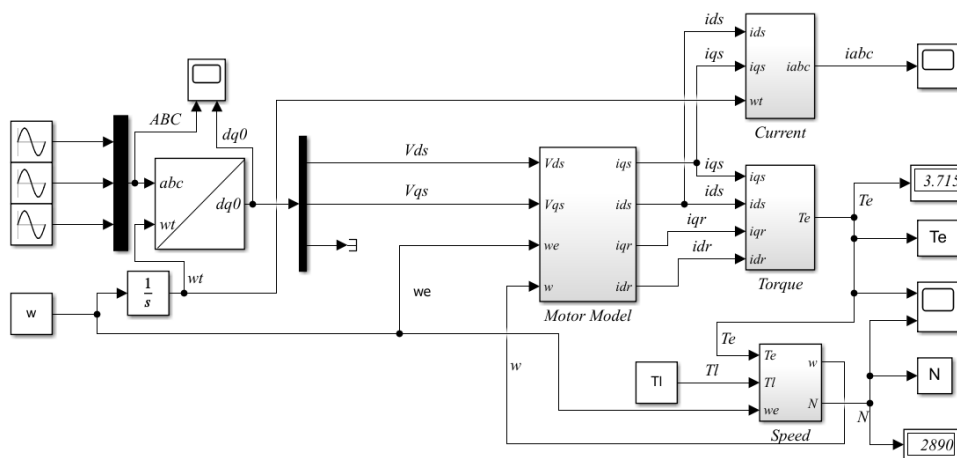
и уравнението на движението на задвижването

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c. \quad (3)$$

В горните уравнения са използвани следните означения: R_s , R'_r - активно съпротивление на статорната и приведената роторна намотка; U_{sd} , i_{sd} , U'_{rd} , i'_{rd} и U_{sq} , i_{sq} , U'_{rq} , i'_{rq} - проекциите на напрежението и тока на статора и ротора върху осите **d** и **q**; ψ_{sd} , ψ_{sq} , ψ'_{rd} , ψ'_{rq} - проекциите на потокосцепления на статора и ротора върху осите **d** и **q**; ω и ω_r - синхронна и ъглова скорост на ротора; p - брой на чифтовете полюси; J - инерционен момент; M_c - приведения към вала на ротора съпротивителен момент.

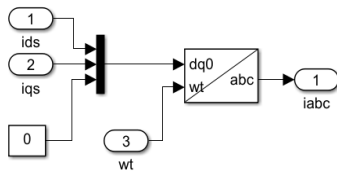
Математическият двуфазен q-d модел на АД се използва за моделиране на електромагнитните процеси в АД в средата Matlab/Simulink. На практика, показаните по-горе модели се заложили в симулационния блок на АД и позволяват да се изследват установените и динамичните режими на работа на електрозадвижванията (Христова М., 2013).

За индукционна машина, захранвана директно от трифазна мрежа, можем да визуализираме скоростта на ротора, електромагнитния въртящ момент и тока през статорната намотка, използвайки фиг. 1 (Le Roux, P.F., Ngwenyama, M.K., 2022).

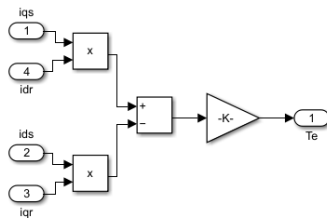


Фиг.1. Модел за изследване на асинхронен двигател в Matlab

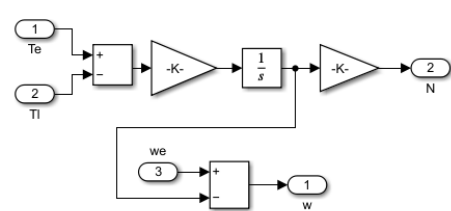
Моделите на блокове Current, Torque, Speed и Motor Model са визуализирани на фиг.2...фиг.5 (Le Roux, P.F., Ngwenyama, M.K., 2022).



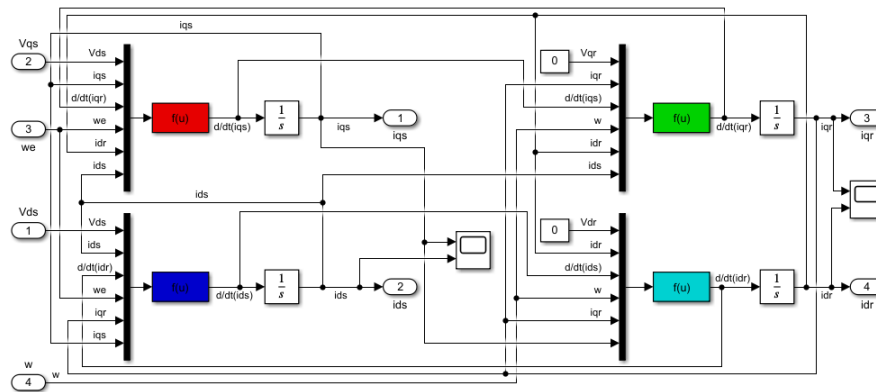
Фиг.2. Модел на блок Current



Фиг.3. Модел на блок Torque



Фиг.4. Модел на блок Speed



Фиг.5. Модел на блок Motor Model

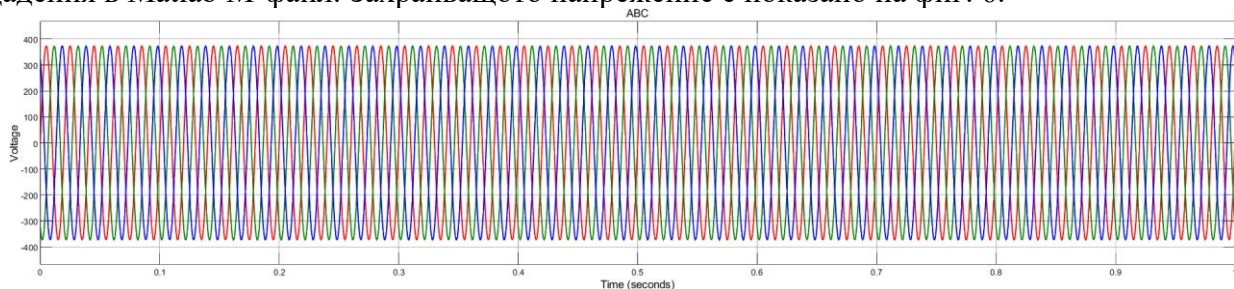
Изследваният асинхронен двигател е с: номинална мощност $P_n = 1,1kW$, честота на въртене $n_n = 2830min^{-1}$, номинално напрежение $U_n 220/380V$, номинален ток $I_n 4,4/2,5A$, фактор на мощността $\cos \varphi = 0,85$, свързване на статорната намотка Δ/Y . За да се симулира работата на виртуалния модел на АД от фиг.1 се създава М-файл в Matlab. В него се въвеждат параметрите на двигателя, показани в табл.1, както и съпротивителния момент, приложен на вала на двигателя. В М-файла, освен параметрите на двигателя, са въведени още: инерционен момент $J=0.006, kg.m^2$, брой полюси $p=2$.

Таблица 1

Параметри на изследвания трифазен асинхронен двигател

Параметри	R_1, Ω	R'_2, Ω	X_1, Ω	X'_2, Ω	X_μ, Ω	L_1, H	L'_2, H	L_μ, H
Реален АД	6,07	5,69	5,95	5,95	152,13	0,01894	0,01894	0,48424

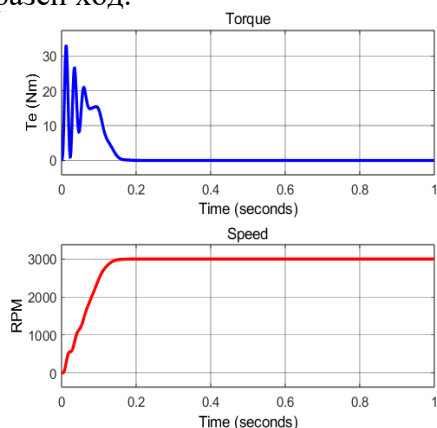
Данните за активните и реактивните съпротивления на статорната намотка- R_1, X_1 , на приведената роторна намотка - R'_2, X'_2 и индуктивното съпротивление на намагнитващия контур X_μ на реалния АД са определени чрез генетичен алгоритъм (Krasteva A., D. Ivanova, M. Hristova, 2014). При всяка промяна на съпротивителния момент Tl (фиг.1) е необходимо да се актуализира създадения в Matlab М-файл. Захранващото напрежение е показано на фиг. 6.



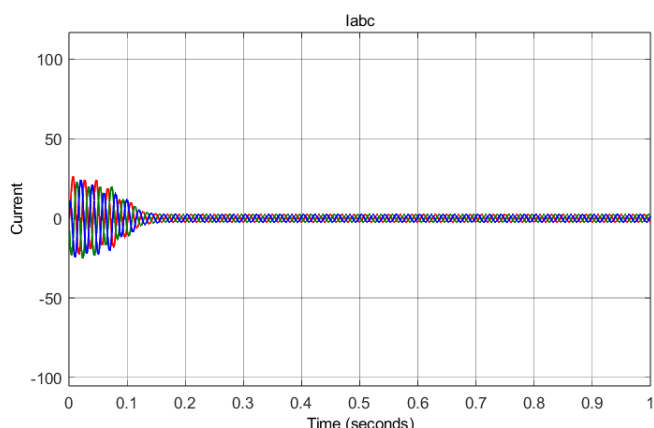
Фиг.6. Изменение на захранващото напрежение

Симулирани са пусковите процеси на изследвания двигател при три режима на работа: празен ход, номинално натоварване и 50% от него. На фиг.7 е визуализирано изменението на електромагнитния момент Te, Nm и честотата на въртене на вала на двигателя (RPM) при директно

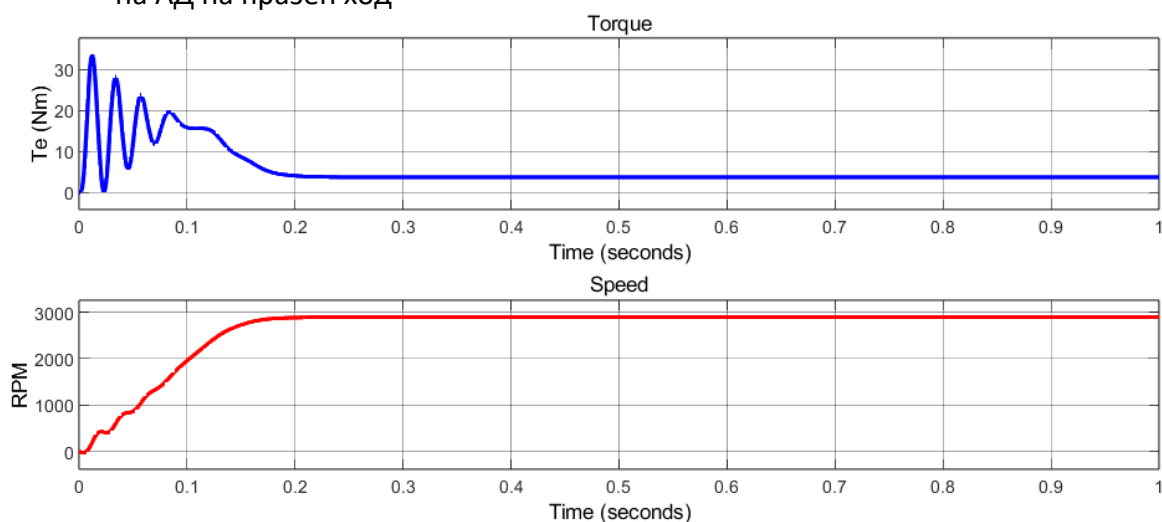
пускане, когато двигателят работи на празен ход, а на фиг. 8 - консумирания ток при пускане на АД на празен ход.



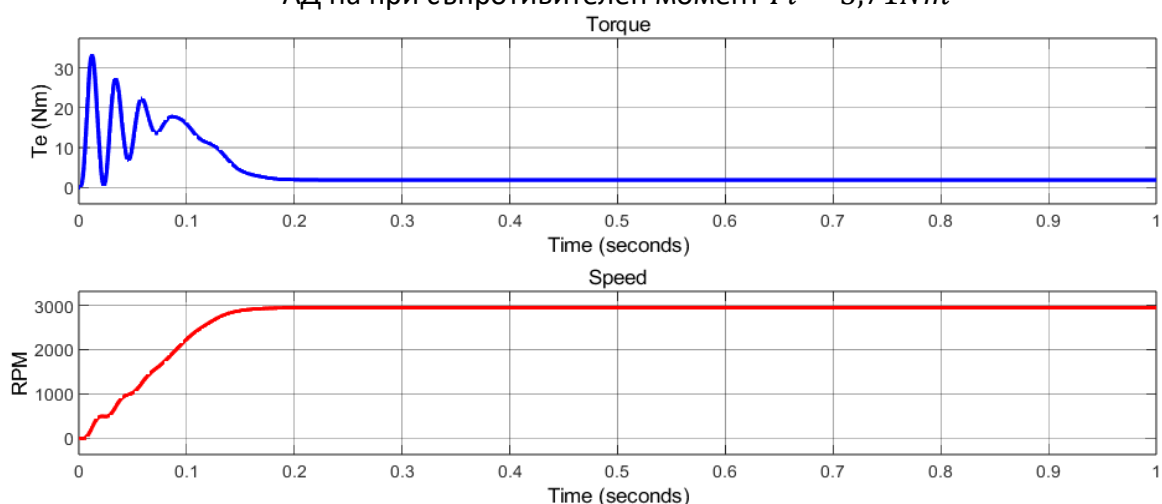
Фиг.7. Изменение на електромагнитният момент и честотата на въртене при пускане на АД на празен ход



Фиг.8. Изменение на консумирания ток при пускане на АД на празен ход



Фиг.9. Изменение на електромагнитният момент и честотата на въртене при пускане на АД на при съпротивителен момент $T_l = 3,71 Nm$



Фиг.10. Изменение на електромагнитният момент и честотата на въртене при пускане на АД при съпротивителен момент $T_l = 1,85 Nm$

От графиките на фиг. 7 се вижда, че при директно пускане има значителни колебания на момента и честотата на въртене. Максималната стойност на динамичния момент при това пускане превишава многократно (над пет пъти) номиналния момент, което е опасно за производения

механизъм и самия двигател. На фиг.9 и фиг.10 е показано изменението на изменение на електромагнитния момент и честотата на въртене при пускане на АД при съпротивителен момент $Tl = 3,71Nm$ и $Tl = 1,85Nm$. Определянето на точните стойности на параметрите на заместващата схема на конкретен двигател дава възможност да се изследва и анализира работата на АД, при различни натоварвания, както в установен режим, така и по време на преходните процеси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разработката е изследван динамичен режим на работа на трифазен асинхронен двигател в средата на Matlab/Simulink чрез подходящ виртуален стенд. Показано е влиянието на съпротивителния момент, приложен на вала на конкретен асинхронен двигател, върху изменението на електромагнитния момент, честотата на въртене и тока през статорната му намотка.

За целите на изследването е разработен М - файл в средата Matlab, съдържащ параметрите на изследвания двигател, получени чрез генетичен алгоритъм.

С помощта на предложения модел може да се анализира влиянието на отделните параметри върху статичните и динамични характеристики, което не е възможно при реалните АД.

REFERENCES

O. E. - S. Mohammed Youssef (2018). *A New Open-Loop Volts/Hertz Control Method for Induction Motors*. Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), Cairo, Egypt, pp. 266-270.

Ekop Ubong Sebastian, Ekom Enefiok Okpo and Imo Edwin Nkan (2024). *Dynamic Simulation and Analysis of Three Phase Induction Motor for Faults Detection using Matlab/Simulink*. Journal of Engineering Research and Reports Volume 26, Issue 11, pp. 286-303.

Sang – Hoon Kim (2017). *Electric Motor Control. DC, AC, and BLDC motors*. pp. 426.

Le Roux, P.F., Ngwenyama, M.K. (2022). *Static and Dynamic Simulation of an Induction Motor Using Matlab/Simulink*. Energies 2022, 15, 3564.

Христова М. (2013). *Изследване енергийната ефективност на асинхронни двигатели в електрозадвижванията*. Автореферат за присъждане на ОНС „Доктор“, с.48.

Krasteva A., D. Ivanova, M. Hristova (2014). *Comparison of the performance characteristics of an induction motor, the parameters of which are determined experimentally and by a genetic algorithm*. Scientific journal Agricultural Engineering, University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Institute of Agricultural Engineering, Belgrade-Zemun, 2014, No 1, Vol. XXXI, pp. 31-38.

Черных И. В. (2008). *Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink*, М., ДМК Пресс, Москва. с.288.