

Методични указания за изследване на трифазен асинхронен двигател в програмната среда Matlab/Simulink

Миглена Христова Анка Кръстева

Instructions for testing three-phase asynchronous motor in the programming environment Matlab / Simulink: This article presents guidelines for obtaining the mechanical performance of induction motor by virtual experiments and analytical calculations. For this purpose virtual setup is proposed to simulate the operation of the induction motor in **Matlab / Simulink**.

Key words: induction motor, simulation, Matlab/Simulink

ВЪВЕДЕНИЕ

Трифазните асинхронни двигатели (АД) са най-разпространените електрически машини. Те са основен елемент в електрозадвижването и служат за преобразуване на електрическата енергия в механична. Около 90% от всички електрически двигатели в промишлеността са асинхронни с накъсосъединен ротор [1]. Изследването на електромеханични системи с АД изисква да се познават, анализират и оптимизират производствените технологични процеси, с цел намаляване разхода на електрическа енергия.

Програмният продукт **Matlab** е мощно средство за симулиране и моделиране на динамичните режими на работа на АД и изследване влиянието на различни фактори върху механичните и работните характеристики на АД. При разработване на виртуални лабораторни стендове за обучение в областта на електрозадвижванията е целесъобразно да се използват готовите модели от библиотеката **SimPowerSystem** на електротехническите устройства – различни видове електрически двигатели, захранващи източници, преобразователни устройства и др. Известна трудност при настройка на моделите представлява определянето на необходимите параметри на отделните видове електрически машини, тъй като липсва информация за тях в справочната литература.

Целта на настоящата работа е да се предложат методични указания и виртуален стенд за снемане на механичните характеристики на АД в програмната среда на **Matlab/Simulink**.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Виртуалният стенд (фиг.1) за снемане механичните характеристики на трифазен асинхронен двигател е разработен с помощта на програмния продукт **Matlab** и приложенията **Simulink** и **SimPowerSystem** като се използват следните блокове: **Asynchronous Machine SI Units** - готов модел (блок) на трифазна асинхронна машина; **Three-Phase Programmable Voltage Source** - източник на трифазно променливо напрежение; **Three-Phase V-I Measurement** за измерване на трифазното напрежение и ток; **Machines Measurement Demux** за измерване на променливите на състоянието на асинхронната машина като ъгловата скорост, момент и др.; **Constant** за задаване на токоварването на вала на АД; **Scope** - осцилоскопи; **XY Graph** за построяване на динамичната механична характеристика на изпитвания АД.

Обект на изследване е виртуалният АД от библиотеката **SimPowerSystem/Machines** с номинални данни: $P_H = 4\text{kW}$; $U_H = 400\text{V}$; $n_H = 1430\text{min}^{-1}$.

Математичният модел на използвания вграден блок на АД в **SimPowerSystem**, се описва със следната система диференциални уравнения за напреженията, съставени на базата на теорията на обобщената двуфазна машина [3]

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

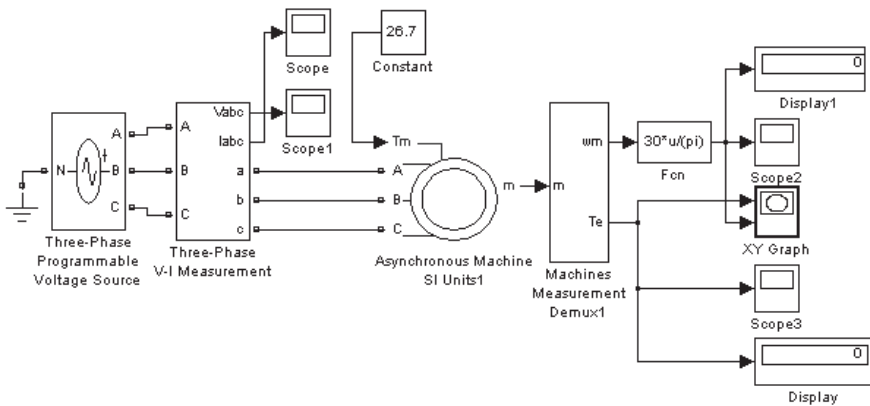
уравнението за електромагнитния момент

$$M = 1,5p(\psi_{sd}i_{sq} - \psi_{sq}i_{sd}) \tag{2}$$

и уравнението на движението на задвижването

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c \tag{3}$$

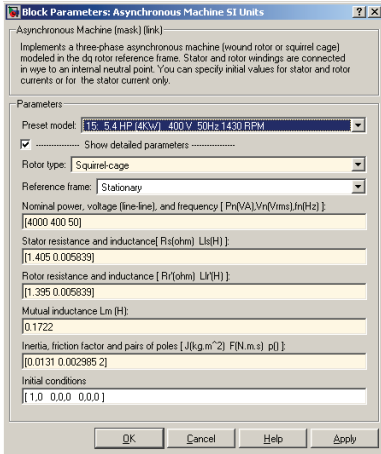
В горните уравнения са използвани следните означения: R_s , R'_r - активно съпротивление на статорната и приведената роторна намотка; U_{sd} , i_{sd} , U'_{rd} , i'_{rd} и U_{sq} , i_{sq} , U'_{rq} , i'_{rq} - проекциите на напрежението и тока на статора и ротора върху осите d и q ; ψ_{sd} , ψ_{sq} ,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



Фиг. 1. Виртуален стенд за снемане механичните характеристики на трифазен асинхронен двигател

В диалоговия прозорец за настройка параметрите на асинхронната машина, посочен на фиг. 2, в полето **Preset model** се избира двигателят, който е обект на изследването.

Ако за изследването се използва двигател, който не фигурира в списъка (фиг.2), се избира "No" и в отделните полета трябва да бъдат въведени предварително определените параметри на АД [2].



Фиг. 2. Прозорец за настройка параметрите на асинхронен двигател

в блока **Constant** се задават няколко стойности на съпротивителния момент $M_c, N.m$ в интервала $(0...1,1)$ $M_H, N.m$. За всяка стойност на M_c се стартира нова симулация и данните от блоковете **Display** (електромагнитен момент $M, N.m$) и **Display1** (честота на въртене n, min^{-1}) се записват в табл. 1.

Симулирането на работата на АД чрез виртуалния стенд може да се осъществи до натоварване с критичен момент, т.е. статичната механична характеристика може да се снемат за целия участък на устойчив режим на работа. При задаване на поголеми стойности на съпротивителния момент, АД преминава в генераторен режим.

По данни от таблицата се построява естествената характеристика $n = f(M)$ (крива 1, фиг. 3а) на АД.

Таблица 1
Данни за построяване на естествената и изкуствените механични характеристики на АД

$M, N.m$									
n, min^{-1}									

Снемат се изкуствена механична характеристика при понижено захранващо напрежение $U_1 = 0,8.U_H$ и изкуствени механични характеристики при честоти f_1 , различни от номиналната и $U_1/f_1 = const$.

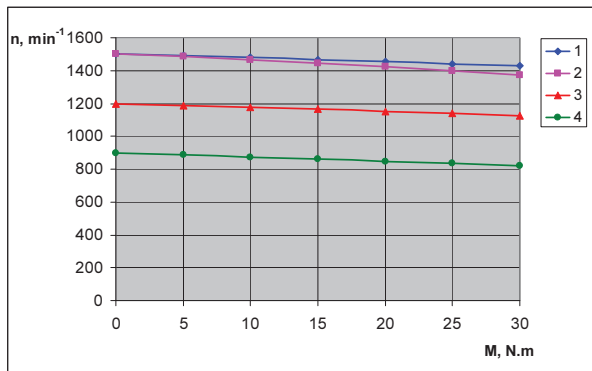
Стойностите на избраните напрежения и честоти се въвеждат в полето **Positive - sequence** на блок **Three-Phase Programmable Voltage Source**. Изменението на натоварването на АД, стартирането на симулацията, отчитането на честотата на въртене n, min^{-1} и електромагнитния момент $M, N.m$ се извършват както при снемане на естествената механична характеристика. Получените данни се записват в табл. 1. По тях се построяват изкуствените механични характеристики (фиг. 3а).

Към входа на блок **Fcn** се подават данните за ъгловата скорост от блок **Machines Measurement Demux** $\omega, rad.s^{-1}$, а на изхода се получава честотата на въртене n, min^{-1} (фиг.1). В **Fcn** се извършва изчислителна процедура по формулата

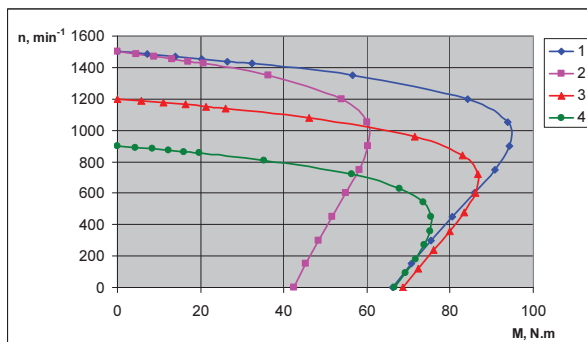
$$n = \frac{30\omega}{\pi} \quad (4)$$

Естествената механична характеристика $n = f(M)$ се снемат при номинални стойности на напрежението $U_1 = U_H$ и честотата $f_1 = f_H$. За целта в блок **Three-Phase Programmable Voltage Source**, в полето **Positive - sequence**, се въвеждат номиналните данни.

Натоварването на АД се променя като



а)



б)

Фиг. 3. Механични характеристики на трифазен асинхронен двигател получени по:
 а) опитен път с виртуален стенд; б) аналитичен начин : 1 – естествена механична
 характеристика при $U_1 = 400V$, $f_1 = 50Hz$; 2 – изкуствена при $U_1 = 320V$,
 $f_1 = 50Hz$; 3 – изкуствена при $U_1 = 320V$, $f_1 = 40Hz$; 4 – изкуствена при
 $U_1 = 240V$, $f_1 = 30Hz$

На осцилоскопите **Scope2** и **Scope3** могат да се наблюдават преходните процеси на честотата на въртене и момента, при пускане на празен ход и натоварване. По време на пускането на АД се наблюдават значителни колебания на момента и скоростта. При натоварване колебанията на момента и скоростта значително намаляват.

За изследване установените режими на работа на АД се използват математични модели, базирани на заместващите схеми на АД. Електромагнитният момент се изчислява в целия диапазон на изменение на хлъзгането s при известни параметри на АД (R_s, X_s, R_r' и X_r'), като се използва Г-образната заместваща схема и зависимостта

$$M = \frac{pm_1 U_1^2 R_r'}{2\pi f_1 s \left[\left(R_s + \frac{R_r'}{s} \right)^2 + \left(X_s + X_r' \right)^2 \right]}, \quad (5)$$

където m_1 е броят на фазите на статорната намотка; X_s , X_r' - индуктивното съпротивление на разсейване на статорната и на приведената роторна намотка.

Данни за параметрите на изследвания АД се вземат от прозореца за настройка параметрите на готовия блок АД (фиг. 2) от полетата **Stator resistance and inductance** и **Rotor resistance and inductance**, съответно активно съпротивление и индуктивност на разсейване на статорната и приведената роторна намотка. Необходимо е да се изчислят стойностите на индуктивните съпротивления на разсейване на статорната и приведената роторна намотка ($X = 2\pi f_1 L$) от данните за индуктивностите на разсейване.

На фиг. 3б са показани получените по аналитичен път естествена и изкуствени механични характеристики.

Посредством приложението **Simulink/SimPowerSystem** в **Matlab** лесно се разработват виртуални лабораторни стендове, които могат да се използват за изследване динамичните и установени режими на работа електрическите машини и електрозадвижванията.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработени са методични указания за получаване на естествената и изкуствените механични характеристики по експериментален и аналитичен път. Предложен е виртуален стенд за симулиране работата на АД, чрез който по опитен път се получават различни механични характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Стефанов Ст., В. Русева. Енергоефективни източници и технологии. Печатна база на РУ „Ангел Кънчев”, Русе 2009.
- [2] Христова М. Методика за определяне натоварването и коефициента на полезно действие на асинхронните двигатели. Енергетика, 2011, брой 4, стр. 25-29.
- [3] Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink, ДМК Пресс, Москва 2008.

За контакти:

Гл. ас. инж. Миглена Христова, Катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел.: 888 659, E-mail: mcankova@uni-ruse.bg

Гл. ас. д-р инж. Анка Кръстева, Катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, Тел.: 888 659, E-mail: akrasteva@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.