

USE OF THE MATLAB PROGRAMMING ENVIRONMENT IN THE FACE-TO-FACE AND ONLINE TRAINING OF STUDENTS IN THE ELECTRIC DRIVES MODUL ⁵

Assoc. Prof. Anka Krasteva, PhD

Department of Electric Power Engineering,

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: 082-888 655

E-mail: akrasteva@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Vyara Ruseva, PhD

Department of Electric Power Engineering,

“Angel Kanchev” University of Ruse

E-mail: vruseva@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Konstantin Koev, PhD

Department of Electric Power Engineering,

“Angel Kanchev” University of Ruse

E-mail: kkoev@uni-ruse.bg

Abstract: *This paper describes the structure of the Electric Drives module which is a compulsory module in the curriculum of students from the Electrical Power Engineering and Electrical Equipment program at the Angel Kanchev University of Ruse who are studying toward a bachelor's educational – qualification degree. The aim of the article is: first, to present methodological guidelines for the set-up of a virtual bench in the MATLAB programming environment that simulates with sufficient accuracy the operation of a real induction motor used in face-to-face laboratory exercises in the module concerned and can be used in the online training of students; second, to specify an approach for the plotting of the speed-torque characteristics through a virtual laboratory bench and to analyze the opinions of students on its use in the course of online learning in this module.*

Keywords: *Matlab, Electrical Drives, induction motor, simulation models.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Обучението по дисциплината „Електрозадвижване“ на студентите от специалност „Електроенергетика и електрообзавеждане“ по време на пандемията от COVID – 19 се проведе по два начина: асинхронно и синхронно. Синхронното обучение по дисциплината „Електрозадвижване“ дава възможност на студентите, използвайки програмната среда MATLAB, да разработват виртуални модели, които с достатъчна точност да симулират работата на реалните лабораторни стендове. Провеждането на виртуалните лабораторни упражнения се осъществява по същата методика, по която се извършват и действителните експерименти, с цел да се съпоставят получените резултати. Програмната среда Matlab/Simulink е подходяща за изследване работата на електрическите машини, като основен елемент в електрозадвижващата система. Съществуват редица разработки, в които процесите в реалните машини са сравнени с резултатите, получавани от модела, синтезиран в Matlab. В (Makinde et al, 2023; Salimin et al, 2013; Kostov, I., 2015; Krastev et al, 2013; Pantel, O., 2015) са моделирани характеристики на асинхронен двигател в средата Matlab. Модели на асинхронни машини, реализирани в Simulink среда, са представени в (Stalnaya, M., & Eremochkin, S., 2015; Luís de Aguiar M., & Cad., M., 2000), но в тези статии моделите са като

⁵ Докладът е представен в секция Електротехника, електроника и автоматика на 27 октомври 2023 с оригинално заглавие на български език: ИЗПОЛЗВАНЕ НА ПРОГРАМНАТА СРЕДА МАТЛАБ В ПРИСЪСТВЕНО И ОНЛАЙН ОБУЧЕНИЕ НА СТУДЕНТИТЕ ПО ДИСЦИПЛИНАТА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ

черни кутии, без да са показани детайлно принципите за тяхното построяване. Друг подход е използването на системата Simulink Power System Blockset (Le-Huy, H., 2001), която е вградена в системата Simulink. За разлика от черните модели кутии, всички параметри на машината са достъпни от гледна точка на контрол и проверка (Markov, B., 2014). Използват се различни математически модели за изследване на проблеми, свързани с асинхронни двигатели. Те варират от прости модели на еквивалентни схеми до по-сложни (Ansari, A. & Deshpande, D., 2010; Ratnani P., & Thosar, A., 2014). Съществуват разработки, в които авторите предлагат симулационни изпитвания на асинхронен двигател в програмната среда Matlab, което цели определяне параметрите на заместващата му схема (Spasov, R., & Rachev, E., 2011). Съгласно (Hristova, M., 2013), ако се разполага с подходящ модел на асинхронен двигател в средата Matlab/Simulink и ако са известни параметрите на заместващата му схема, може да се получи информация за енергийната ефективност при различни натоварвания, както в установен режим, така и по време на преходните процеси и при променлив товар.

В настоящата статия е посочена структурата на дисциплината „Електрозадвижване“, включена като задължителна в учебния план на студентите от специалност „Електроенергетика и електрообзавеждане“ към Русенски университет „Ангел Кънчев“ – за образователно-квалификационна степен „Бакалавър“. Целта на статията е: 1 – да се представят методични указания за създаване на виртуален стенд в програмната среда MATLAB, който с необходимата точност симулира работата на реален асинхронен двигател, използван при провеждане на присъствени лабораторни упражнения по коментираната дисциплина и който може да се използва при онлайн обучение на студентите; 2 – да се посочи подход за построяване на механичните характеристики чрез виртуален лабораторен стенд и да се направи анализ на мненията на студентите, относно неговото използване за онлайн обучение по дисциплината „Електрозадвижване“.

ИЗЛОЖЕНИЕ

А. Цел на дисциплината Електрозадвижване, структура и очаквани резултати от обучението

Целта на обучението по дисциплината е студентите да получат теоретични и практически знания за механиката и енергетиката на електрозадвижването, електро-механичните свойства на постояннотоковите и променливотоковите електрозадвижвания, както и за различните режими на работа на електродвигателите.

В резултат на обучението по дисциплината „Електрозадвижване“ студентите ще придобият:

Знания: разширени и задълбочени теоретични и фактологични знания, включително свързани с най-новите постижения, относно механичните характеристики на електродвигателите; съвместната работа на електродвигател и производствен механизъм; режимите на работа на електродвигателите в електромеханичната система; регулирането на скоростта в електрозадвижването.

Умения: за владение на методи и средства, позволяващи решаване на сложни задачи; за проява на новаторство и творчески подход при решаване на нестандартни задачи; за логическо мислене при анализиране на процесите, протичащи в производствените системи.

Компетенции: за личен подход при анализа на процесите, протичащи в електрозадвижващите системи, за постоянно усъвършенстване и усвояване на нови знания, за комуникация при извършване на творческата работа.

Обучението по дисциплината „Електрозадвижване“ се осъществява чрез лекции, лабораторни упражнения, в които се използват макети, действащи образци и стандартни електрически машини. Част от темите са свързани с изследване работата на асинхронни двигатели, към които е насочена и настоящата разработка.

Б. Последователност на работа при изследване на конкретен асинхронен двигател с накъсосъединен ротор чрез виртуален стенд в програмната среда Matlab

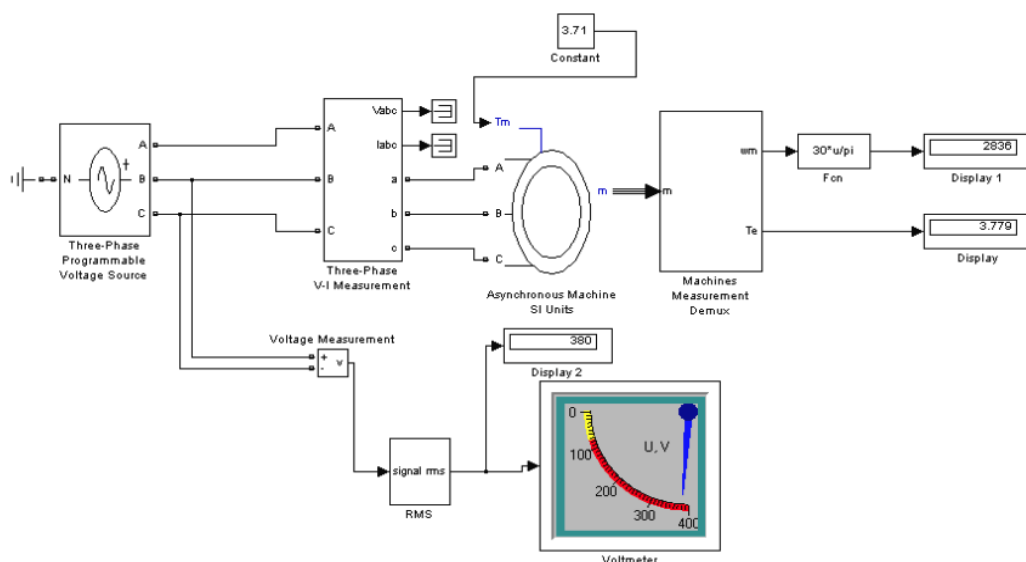
Създаване на виртуален стенд в програмната среда Matlab за изследване механичните характеристики на асинхронен двигател с накъсосъединен ротор.

За да се създадат студентите виртуален стенд е необходимо:

- да се запознаят с блоковете и техните параметри от библиотеката Simulink Library Browser/SimPowerSystems, необходими за построяване на виртуалния стенд;
- да създадат виртуален стенд за симулиране работата на асинхронен двигател с накъсосъединен ротор в програмната среда на Matlab/Simulink под ръководството на преподавателя;
- да настроят блоковете от модела;
- да симулират работата на двигателя и построят една естествена и няколко изкуствени механични характеристики на изследвания двигател, цел на конкретното упражнение, което изпълняват.

За построяване на виртуалния стенд, представен на фиг.1, се използват следните блокове:

- Asynchronous Machine SI Units – готов модел на трифазен асинхронен двигател;
- Three-Phase Programmable Voltage Source – източник на трифазно променливо напрежение;
- Three-Phase V-I Measurement – за измерване на трифазно напрежение и ток;
- Machines Measurement Demux – за измерване на променливите на състоянието на асинхронната машина като ъгловата скорост, момент;
- Constant – за задаване натоварването на вала на асинхронния двигател;
- Fcn – за изчисляване на изходната величина в зависимост от входната. Към входа на блок Fcn се подават данните за ъгловата скорост (ω) от блок Machines Measurement Demux, а на изхода се получава честотата на въртене (n).
- Display, Display 1, Display 2 – за отчитане електромагнитния момент на двигателя, на честотата на въртене и захранващото напрежение.

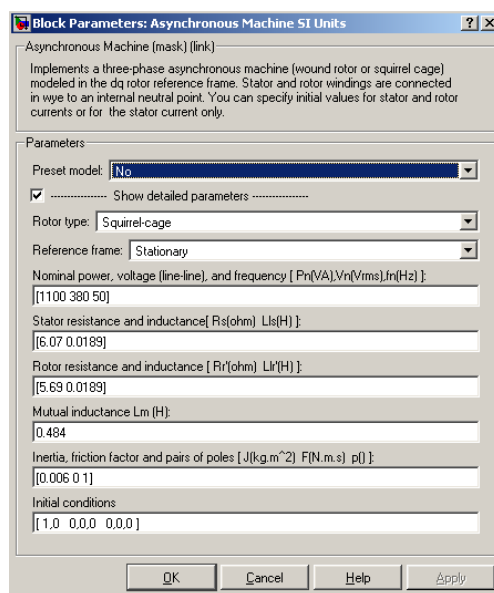


Фиг. 1. Схема на виртуален стенд за снемане на механичните характеристики на асинхронен двигател

Настройване на основните блокове от модела, посочен на фиг.1.

Обектът на изследването е асинхронен двигател с накъсосъединен ротор с технически данни: номинална мощност $P_n = 1,1$ kW, номинално напрежение $U_n = 380$ V и честота на

въртене $n_n = 2830 \text{ min}^{-1}$. За да се настрои блокът Asynchronous Machine SI Units е необходимо в диалоговия му прозорец, показан на фиг.2, да се въведат параметрите на асинхронната машина. В полето Preset model се избира двигател, който се изследва. Ако за изследването се използва двигател, който не фигурира в списъка, се избира No. Тогава в отделните полета трябва да бъдат въведени параметрите на двигателя: Rotor type – от падащото меню се избира видът на ротора; Reference frame – избира се координатната система, спрямо която се отчитат променливите на състоянието на машината; Nominal power, voltage and frequency – мощност, номинално линейно напрежение и честота на напрежението; Stator resistance and inductance – активно съпротивление и индуктивност на статорната намотка; Rotor resistance and inductance – активно съпротивление и индуктивност на приведената роторна намотка; Mutual inductance – параметри на намагнитващия контур; Inertia, friction factor and pole pairs – инерционен момент, коефициент на триене и брой на чифтовете полюси; Initial conditions - начални условия за моделиране (хлъзгане, положение на ротора, токове на статорната намотка и тяхната начална фаза). Параметрите на изследвания двигател, с който се провеждат присъствени лабораторни упражнения, са изчислени по методика, описана в (Hristova, M., 2011).



Фиг. 2. Прозорец за настройка параметрите на асинхронен двигател

В полетата на блока Three-Phase Programmable Voltage Source се задават: ефективната стойност, началната фаза на напрежението на фаза А в градуси и честотата на напрежението (в полето Positive – sequence); параметрите на напрежението, които се променят във времето (амплитуда, фаза или честота) – в полето Time variation of. Ако величините са постоянни се избира None. На изхода на блока Three-Phase V-I Measurement му се получават трифазните токове и напрежения. Настройват се следните полета: Voltage measurement – възможностите са phase-to-phase, phase-to-ground и No, т.е. линейно напрежение, фазно напрежение или без измерване; Current measurement – избира се опцията Yes или No, в зависимост от избора дали се измерва токът. В прозореца за настройка на блок Machines Measurement Demux се избират параметрите (чрез отметка), които се наблюдават.

За получаване на честотата на въртене на изхода на блок Fcn (посочен на фиг.1) е необходимо към входа му да се подадат стойностите за ъгловата скорост от блок Machines Measurement Demux.

Симулиране работата на изследвания асинхронен двигател с накъсосъединен ротор и снемане на данни за построяване на механичните му характеристики

Естествената механична характеристика се сема при номинално напрежение. В диалоговия прозорец на блок Three-Phase Programmable Voltage Source, в полето Positive - sequence се въвеждат стойностите:

- 380 V- ефективна стойност на захранващото напрежение;
- 0 - начална фаза на напрежението на фаза А в градуси;
- 50 Hz - честотата на захранващо напрежение.

За изменение натоварването на асинхронния двигател в блока Constant се задават няколко стойности на съпротивителния момент M_s , N.m в интервала (0...1,1) Мн, N.m. За всяка стойност на натоварването се стартира нова симулация. Данните от блоковете Display (за електромагнитния момент M) и Display1 (за честотата на въртене n) се записват в таблица. По тях се построява естествената характеристика на двигателя $n=f(M)$. Данни за изкуствена механична характеристика на асинхронния двигател се получават при понижено захранващо напрежение. Стойността се въвежда в полето Positive - sequence на блок Three-Phase Programmable Voltage Source. Изменението на натоварването на АД, стартиране на симулацията, отчитане на честотата на въртене и електромагнитния момент се извършват както при снемане на естествената механична характеристика.

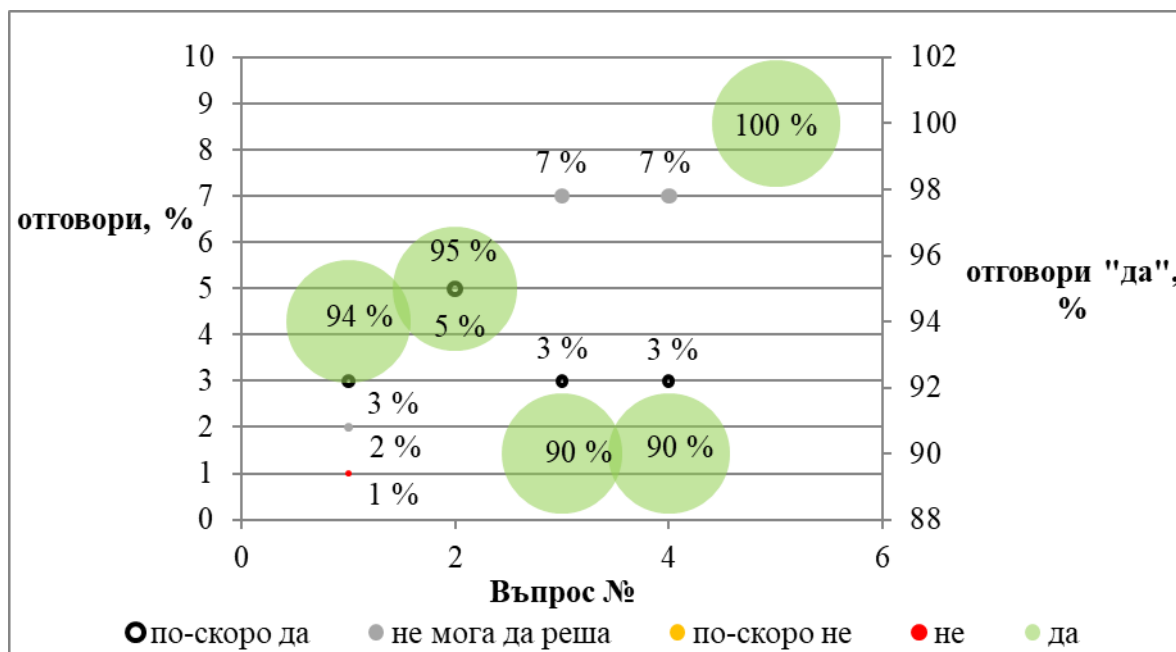
В. Проучване мнението на студентите, относно използването на Matlab при синхронно обучение

Въпросите от проведената в края на учебната 2022/2023г. анкета със студентите, изучавали синхронно дисциплината „Електрозадвигване“, както и резултатите от нея, са показани в табл. 1 и на фиг. 3. Може да се забележи, че студентите много добре възприемат използването на специализиран програмен продукт за симулация на упражненията по дисциплината. Всички анкетирани студенти са участвали активно в проучването и са изразили мнението си по представените в анкетата въпроси.

Таблица 1. Въпроси за анкета

1	Актуално ли е съдържанието на модула?
2	Увеличи ли се интересът ви към предмета, докато го изучавахте?
3	Успяхте ли да създадете виртуален модел в средата за програмиране Matlab в рамките на синхронното обучение?
4	Успяхте ли да настроите, под ръководството на лектора, основните блокове на модела?
5	Имате ли положителна оценка за използването на програмната среда Matlab/Simulink в онлайн обучението на студентите?

Според 94% от студентите съдържанието на модула е категорично подходящо за обучение, 3% от анкетираните са съгласни, че модулет е актуален и само 2% се колебаят да дадат някакъв конкретен отговор. Това, според нас, вероятно е свързано с необичайните метод на представяне на учебния материал и формата на провеждане на упражненията. Друга причина за неопределения отговор могат да бъдат техническите проблеми, възникнали при осъществяването на онлайн комуникацията, в следствие на които се е загубила информация и др. Всички анкетирани са отбелязали в отговорите си, че техният интерес се е увеличил по време на обучението, като 95% от тях са отговорили с „да“ и 5% са посочили „по-скоро да“. Това, според нас, е свързано с подходящо избрания програмен продукт Matlab/Simulink и начина на представяне на учебния материал по дисциплината Електрически задвижвания. Този извод се подкрепя от отговорите на 3-и и 4-ти въпроси от табл.3, които са еднакви: 90% „да“, 3% „по-скоро да“ и 7% „не мога да реша“. Тези резултати показват, че студентите са усвоили в много голяма степен преподавания материал, а където са се затруднили са получили необходимата помощ от преподавателя по време на занятията.



Фиг. 3. Резултати от проведената анкета

Всички студенти (100%) подкрепят мнението, че използването на програмната среда Matlab/Simulink за онлайн обучение е подходящо за провеждане на неприсъствени лабораторни упражнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представен е подход, използван в синхронното обучение, за провеждане на лабораторни упражнения по модул „Електрозадвижвания“ на студенти от специалност „Електроенергетика и електрообзавеждане“ на Русенски университет „Ангел Кънчев“.

За целите на изследването е създаден виртуален стенд в програмната среда Matlab за изследване на работата на асинхронен двигател с накъсосоединен ротор. Посочени са указания за провеждане на виртуалното упражнение, с цел снемане на данни за построяване на механичните характеристики на изследвания двигател.

Анализирани са резултатите от анкетата, проведена сред студентите, изучавали синхронно модул „Електрозадвижвания“. Тези резултати потвърждават целесъобразността на приложения подход на обучение с помощта на програмната среда Matlab в случаите, когато провеждането на лабораторни упражнения в присъствена обстановка не е възможно.

REFERENCES

Ansari, A. & Deshpande, D. (2010). *Mathematical Model of Asynchronous Machine in MATLAB Simulink*. International Journal of Engineering Science and Technology Vol. 2(5), 1260-1267.

Hristova, M. (2011). *Methodology for determining the load and efficiency of induction motors*. Energy magazine 4, 25-29 (**Оригинално заглавие:** Христова, М., 2011. Методика за определяне на натоварването и ефективността на асинхронните двигатели. сп. Енергетика 4, 25-29.)

Hristova, M. (2013). *Study of the energy efficiency of induction motors in electric drives*. PhD Thesis, Department Electrical Power Engineering, University of Ruse (**Оригинално заглавие:** Христова, М., 2013. Изследване на енергийната ефективност на асинхронните двигатели в електрозадвижванията. Докторска дисертация, Катедра Електроснабдяване и електрообзавеждане, Русенски университет).

Le-Huy, H. (2001). *Modeling and simulation of electrical drives using MATLAB/Simulink and Power System Blockset*. In Proceedings of the 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (Cat. No.37243), Denver, CO, USA, 2001, 1603-1611 vol.3, doi: 10.1109/IECON.2001.975530.

Luís de Aguiar M., & Cad., M. (2000). *The concept of complex transfer functions applied to the modeling of induction motors*. In Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Singapore, vol.1, (January 2000), 387-391. [https://doi.org/ 10.1109/PESW.2000.849995](https://doi.org/10.1109/PESW.2000.849995).

Krastev, Kr., Rachev, E., & Krasteva R. (2013). *Programming model in Matlab/Simlink environment of cage rotor induction motor at high rotation speed*. In Proceedings of the National forum "Electronic, information and communication systems", Sofia, Home of science and technology, (16 - 17 May, 2013), 85-90.

Kostov, I. (2015). *Modeling of induction motors by means of an equivalent circuit*. Journal of the Technical University – Sofia Plovdiv branch, Bulgaria "Fundamental Sciences and Applications", Vol 21, book 1, (May 2015) 81-88.

Makinde, K.A., Bakare, M.S., Akinloye, B.O., Zubair, U.O. & Owonikoko, W.O. (2023). *Simulation based testing and performance investigation of induction motor drives using matlab simulink*. SN Appl. Sci. 5, 73. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05296-w>.

Markov, B. (2014). *Modular implementation of induction motor in Simulink environment*. In Proceedings of the scientific works of university of food technologies Plovdiv, Vol LXI 2014, 581-586.

Salimin, R. H., Abd Kadir, S.H.B., Shah Baki, S.R.M., Ismail, F. (2013). *Parameter identification of three-phase induction motor using MATLAB-simulink*. In Proceedings of the IEEE 7th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), Langkawi, Malaysia, 647-651. <https://doi.org/10.1109/PEOCO.2013.6564627>.

Pantel, O. (2015). *Methodology for calculating engine parameters to model its operating modes in the Matlab/Simulink environment*. Scientific methodical journal ACADEMY Vol 2, (November 2015), 7-11.

Ratnani P., & Thosar, A. (2014). *Mathematical Modelling of a 3 Phase Induction Motor Using MATLAB/Simulink*. International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER), vol.4, 62-67.

Spasov, R., & Rachev, E. (2011). *Determination of the parameters of the replacement circuit of an asynchronous motor by means of Matlab/Simulink tests*. TU Sofia - III scientific conference of energy efficiency, Sozopol, Vol. 2, (2-3 October), 115-122.

Stalnaya, M., & Eremochkin, S. (2015). *The modelling of electromechanical characteristics of the there-phase electric motor with the vectoralgorithmic converter in the Matlab/Simulink*. In Proceedings of the Sixteenth International Scientific and Technical Conference "AC Electric Drives", Ekaterininburg, (05-09 October), 145-148.