



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-19-0210

HIL emulátor riadenia malých vodných elektrární.

Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Daniela Perdukova, PhD.**

Príjemca

Technická univerzita v Košiciach - Fakulta elektrotechniky a informatiky

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Katedra elektrotechniky a mechatroniky (KEM)
Fakulta elektrotechniky a informatiky (FEI)
Technická univerzita v Košiciach (TUKE)

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Na projekte nespôpracovalo žiadne zahraničné pracovisko.

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

Pôvodcovia:

Fedor Pavol, prof. Ing., PhD.; Na Stráni 1, 040 01 Košice 1; SK;

Perduková Daniela, prof. Ing., PhD.; Ku potoku 5, 040 16 Košice 16; SK;

Bober Peter, Ing., PhD.; Kysucká 2, 040 11 Košice 11; SK

Prihlasovateľ (-ia): Technická univerzita Košice; Letná 9, 042 00 Košice; SK

Patent: Zapojenie obvodu univerzálneho stabilného regulátora dynamického systému.

Patentová prihláška: PP50061-2022.

<https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistre/Patent/Detail/50061-2022>

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

Publikácie v zahraničných karentovaných časopisoch:

1. Perduková, D., Palacký, P., Fedor, P., Bober, P., Fedák, V.: Dynamic Identification of Rotor Magnetic Flux, Torque and Rotor Resistance of Induction Motor. In: IEEE Access, Vol. 8, 2020, pp. 142003-142015. Spôsob prístupu:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9154689>. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3013944

2. Fedor, P., Perduková, D., Bober, P., Fedor, M.: New Stable Non-Vector Control Structure for Induction Motor Drive. Applied Science, Vol.11, No.14, 6518, 2021. ISSN 2076-3417, DOI: 10.3390/app11146518

3. Kyslan, K., Lacko, M., Ferková, Ž., Petro, V., Padmanaban, S., Perduková, D.: Current Limitation Method for V/f Control of Five-Phase Induction Machines. International Transactions on Electrical Energy Systems, Vol.2022, Article Number 5165666, 2022. ISSN:2050-7038. DOI 10.1155/2022/5165666

4. Biľanský, J., Lacko, M., Pastor, M., Marcinek, A., Ďurovsky, F.: Improved Digital Twin of Li-Ion Battery Based on Generic MATLAB Model. Energies, Vol.16, Issue 3, 2023, Article

number 1194, DOI 10.3390/en16031194

5. Pastor, M., Lacko, M., Dudrik, J., Marcinek, A.: Soft-Switching Full-Bridge DC-DC Converter with Energy Recovery Capacitor Snubber. *Energies*. 2023; Vol. 16, No. 4, Article number:1591. <https://doi.org/10.3390/en16041591>

Vedecké práce publikované v časopisoch indexovaných vo WOS:

1. Perduková, D., Fedor, P., Lacko, M.: DC Motor Fuzzy Model Based Optimal Controller. *MM Science Journal*, Vol. 2021, pp. 4879-4885, 2021. ISSN: 1803-1269. DOI: 10.17973/MMSJ.2021_10_2021033

2. Alexovic, S., Lacko, M., Bacik, J., Perdukova, D.: Handheld 3D Scanner Based on Intel RealSense Depth and Tracking Cameras. *Artificial Intelligence Trends in Systems*, Vol. 2, pp. 226-235, 2022. DOI 10.1007/978-3-031-09076-9_22

3. Perduková, D., Fedor, P.: Multi-Motor Drive Non-Parametric Black-Box Fuzzy Model. *MM Science Journal*, Vol. 2023, pp. 6446-6452, 2023. ISSN: 1803-1269. DOI: 10.17973/MMSJ.2023_06_2023009

4. Kanuch, J., Girovsky, P., Zilkova J., Pastor, M.: Design and Measurement of a Frequency Converter with SPWM Modulation of Output Voltage for a Two-Phase Induction Motor, *Elektronika ir Elektrotechnika*, Vol. 29, No. 3, 2023. ISSN 1392-1215. DOI: <http://dx.doi.org/10.5755/j02.eie.33865>

Vedecké práce publikované v recenzovaných vedeckých časopisoch v zahraničí

1. Kaňuch, J.: Analýza, vlastnosti a použitie pohonov s päťfázovým indukčným motorom. In: *Trilobit, Zlín (Česko)*, č. 2, 2020, s. 1-11 [print, online]. ISSN 1804-1795

2. Kaňuch, J.: The Analysis, Advantages and Uses of Five-Phase Induction Motor Drives. *Maszyne Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Nr 1/2021 (125), pp. 1-8. ISSN 0239-3646

3. Perduková, D., Fedor, P., Ďurčanský, D.: Concept of an energy system emulator. *Mathematical modeling : International scientific journal*, Vol. 6, No.2, pp. 59-62, 2022. ISSN 2535-0986

4. Zásalický, P., Kaňuch, J.: Electromagnetic Torque Ripple Diminution of a Five-Phase Asynchronous Motor With One Phase Open Circuit Fault. *Maszyne Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Vol.127, No.1, pp.51-58, 2022. ISSN 0239-3646

5. Kaňuch, J., Girovský, P.: Disc Switched Reluctance Motor with High Dynamics. *Maszyne Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Vol.127, No.1, pp.59-66, 2022. ISSN 0239-3646

6. Perduková, D., Fedor, P., Fedor, M.: A New High-Quality Dynamic Identification Structure for IM Parameters. *Mathematical modeling : International scientific journal*, Vol. 7, No.1, pp. 23-26, 2023. ISSN 2535-0986

Vedecké práce publikované v recenzovaných časopisoch v SR

1. Fedor, M., Perduková, D.: The Identification of Induction Motor Internal Quantities. *Acta Electrotechnica et Informatica*, Košice: Elfa No.3, Vol.21, 2021, s. 24-29. ISSN 1335-8243

2. Perduková, D., Fedor, P.: Úplný model malej vodnej elektrárne. *Elektroenergetika*, Vo.14, No.2, pp.29-33. ISSN 1337-6756.

<http://eejournal.fei.tuke.sk/index.php/jeen/article/view/511/575>

3. Biľanský, J., Ivan, J., Bodnár, D., Lacko, M.: Analysis of Li-Ion Battery Cell Internal Impedance Changes Based on Temperature and SoH. *Acta Electrotechnica et Informatica*, Vol.22, No.3, pp. 3-8, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2478/aei-2022-0011>

4. Biľanský, J., Lacko, M.: Modely batériových systémov elektrovozidiel. *QuoVadis Research @FEI*, Vol.5, No.2, pp. 4-17, 2022. ISBN 2585-9587

5. Olexa, R., Fedor, P.: Simulation and Laboratory Model of Small Hydropower Plant. *Acta Electrotechnica et Informatica*, Vol.22, No.4, pp. 12-17, 2022. ISBN 2585-9587.

6. Perduková, D., Fedor, P., Fedor, M.: Hydraulic Turbine Modelling Including a Fuzzy Model of Efficiency. *Acta Electrotechnica et Informatica*, Košice: Elfa, Vol. 23, No. 1, 2023, s. 25-31. eISSN 1338-3957. DOI: 10.2478/aei-2023-0004

7. Olexa, R., Fedor, P.: Simulation Model of Small Hydropower Plant. *QuoVadis Research @FEI*, Vol.6, No.1, pp. 55-68, 2023. ISBN 2585-9587

Vedecké práce publikované v zborníkoch zo zahraničných konferencií:

1. Fedor, P., Perduková, D., Fedor, M., Fedák, V.: Application of a Simplified Inverse Fuzzy Model for an Induction Motor Drive Control. In: *Proc. of 21th International Conference on Electrical Drives and Power Electronics – EDPE 2021, Dubrovnik, Croatia* 22.-24.9.2021, pp. 249-253. ISBN 978-1-66543235-1. ISSN 1339-3944. DOI: 10.1109/EDPE53134.2021.9604054

2. Kaňuch, J.: Nové trendy výskumu viacfázových indukčných strojov. In: *Sborník příspěvků*

SEKEL 2021 – Mezinárodní setkání učitelů elektrotechniky, ČVUT Praha, ČR, 13.-15.9.2021, s.1-6. ISBN 978-80-01-06910-3

3. Fedor, M., Fedor, P., Perduková, D., Fedák, V.: Fuzzy Model Development for a Continuous Dynamic Black-Box System. In: 20th IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference, PEMC 2022, 25.-28.9.2022, Brasov. ISBN 978-166549681-0. DOI: 10.1109/PEMC51159.2022.9962875

Vedecké práce publikované v zborníkoch z domácich konferencií:

1. Perduková, D., Fedor, M., Fedor, P.: Various Approaches for a Design of the Hydraulic Turbine Model. In: 11th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering, ELEKTROENERGETIKA 2022, 12.-14.9.2022, Stara Lesna, Slovakia. ISBN 978-805534104-0. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85136985194&origin=inward&txGid=c591bc2e548c3c49536260b18dbb62a8>

2. Fedor, M.: Simplified inverse fuzzy model for an induction motor drive control. In: Proc. of 22nd Scientific Conference of Young Researchers-SCYR 2022, pp. 66-69, 2022. ISBN 978-80-553-4061-6. <http://scyr.kpi.fei.tuke.sk/index.php/proceedings-winners/>

Vedecké práce publikované v recenzovaných zborníkoch v SR:

1. Kaňuch, J., Girovský, P.: Diskový krokový motor s dvojitým rotorom s permanentnými magnetmi. In: Electrical Engineering and Informatics XI: proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. Košice: Technická univerzita v Košiciach, s. 307-315, 2020 [CD-ROM, online]. ISBN 978-80-553-3585-8 Spôsob prístupu: http://eei.fei.tuke.sk/data/EEI_XI.pdf.

2. Girovský, P., Závist, M.: Riadenie BLDC motora. In: Electrical Engineering and Informatics XII: proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. Košice: Technická univerzita v Košiciach, s. 368-376, 2021 [CD-ROM, online]. ISBN 978-80-553-3940-5 Spôsob prístupu: http://eei.fei.tuke.sk/data/EEI_XII.pdf.

3. Fedor, M., Perduková, D.: Dynamická identifikácia vnútorných veličín asynchrónneho motora. In: Electrical Engineering and Informatics XII: proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. Košice: Technická univerzita v Košiciach, s. 146-153, 2021 [CD-ROM, online]. ISBN 978-80-553-3940-5 Spôsob prístupu: http://eei.fei.tuke.sk/data/EEI_XII.pdf.

4. Fedor, P., Radvani, P.: An Inverse Fuzzy Model Strategy for Dynamic System Control. In: Electrical Engineering and Informatics XIII: proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. Košice: Technická univerzita v Košiciach, s. 368-376, 2022 [CD-ROM, online]. ISBN 978-80-553-4120-0. Spôsob prístupu: <http://eei.fei.tuke.sk/data/EEI-13.pdf>

5. Fedor, M., Perduková, D.: Univerzálny emulátor energetických systémov. In: Electrical Engineering and Informatics XIII: proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. Košice: Technická univerzita v Košiciach, s. 468-475, 2022 [CD-ROM, online]. ISBN 978-80-553-4120-0. Spôsob prístupu: <http://eei.fei.tuke.sk/data/EEI-13.pdf>

6. Girovský, P., Kmecík, T.: Lineárny pohon. In: Electrical Engineering and Informatics XIII: proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. Košice: Technická univerzita v Košiciach, s. 507-511, 2022 [CD-ROM, online]. ISBN 978-80-553-4120-0. Spôsob prístupu: <http://eei.fei.tuke.sk/data/EEI-13.pdf>

7. Girovský, P., Gamrát, V.: Návrh GUI pre ovládanie pohonu. In: Electrical Engineering and Informatics XIII: proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. Košice: Technická univerzita v Košiciach, s. 512-515, 2022 [CD-ROM, online]. ISBN 978-80-553-4120-0. Spôsob prístupu: <http://eei.fei.tuke.sk/data/EEI-13.pdf>

8. Fedor, P., Radvani, P., Perduková, D.: Model turbíny malej vodnej elektrárne s fuzzy modelom účinnosti. In: Electrical Engineering and Informatics XIV: proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2023, pp. 298-304. ISBN 978-80-553-4407-2. Spôsob prístupu: Electrical Engineering and Informatics 14 (tuke.sk)

9. Fedor, M., Perduková, D.: Riadenie pohonu s asynchrónnym motorom na báze inverzného fuzzy modelu. In: Electrical Engineering and Informatics XIV: proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2023, pp. 259-266. ISBN 978-80-553-4407-2. Spôsob prístupu: Electrical Engineering and Informatics 14 (tuke.sk)

10. Kaňuch, J.: Troj-statorový diskový synchrónny motor s permanentnými magnetmi. In: Electrical Engineering and Informatics XIV: proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2023, s. 464-472. ISBN 978-80-553-4407-2. Spôsob prístupu: Electrical Engineering and Informatics 14 (tuke.sk)

Kapitola v knihe:

1. Fedor, P., Perduková, D., Bober, P., Fedor, M.: New Stable Non-Vector Control Structure for Induction Motor Drive. Book chapter. In: Prime Archives in Applied Sciences, Hyderabad, India: Vide Leaf, 2022, pp. 1-34. ISBN 978-93-92117-54-1.

Uplatnenie výsledkov projektu

Vecným zámerom projektu bolo postaviť a oživiť univerzálny emulátor malých vodných elektrární s inštalovaným asynchrónnym generátorom s kotvou nakrátko, umožňujúci dodávateľskej firme podstatne skrátiť a efektívne optimalizovať (t.j. v krátkom čase, s vysokým stupňom realizačnej spoľahlivosti a minimom nákladov vytvárať) kvalitné realizačné projekty takýchto energetických zariadení.

Vzhľadom na to, že tento projekt sa práve ukončil, sa v súčasnosti použil na realizáciu modelu MVE Dobšiná III a jeho verifikáciu s údajmi, získanými priamo z tejto elektrárne. Výsledky tejto verifikácie ukazujú, že prototyp emulátora je s veľkou presnosťou použiteľný pre návrh riadenia konkrétnych MVE s asynchrónnym generátorom, pričom umožňuje aj skúmanie veľmi rýchlych elektromagnetických dejov v elektrogenerátore a elektrickej sieti vzhľadom na to, že súčasťou emulátora je aj reálny indukčný stroj.

Na základe uvedeného môžeme predpokladať, že navrhovaný HIL emulátor pre riadenia MVE bude mať v súčasnosti a aj v dlhodobejšom horizonte na Slovensku veľmi široké využitie pre dodávateľské firmy z danej oblasti, ktoré budú môcť veľmi úspešne konkurovať veľkým nadnárodným spoločnostiam v zahraničí.

Konkrétne prínosy pre prax je možné očakávať:

- výrazné skrátenie doby realizácie projektovania a dodávok riadiacich systémov pre MVE;
- zvýšenie kvality (v zmysle reálnosti) navrhnutých realizačných projektov, čo prináša podstatné zníženie realizačných nákladov;
- možnosť energetickej aj dynamickej optimalizácie (a tým zníženie ekonomických nákladov) celého diela už v štádiu jeho projektovania a overenie diela ako celku modelovaním;
- dodatočné ekonomické prínosy pri využívaní emulátora pre výučbu a školenia obsluhy dodávaných zariadení;
- poznatky uložené v HIL emulátore a jeho realizácia na báze DCS umožnia efektívne školiť aj vlastných zamestnancov, čo prispeje ku zvyšovaniu ich kvalifikácie;
- energetická optimalizácia diel bude vo svojich dôsledkoch viesť k šetreniu životného prostredia.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Hlavným výsledkom projektu je prototyp univerzálného emulátora malých vodných elektrární (MVE) s možnosťou reálne skúmať aj jej energetický podsystem, ktorým je elektrogenerátor asynchrónneho typu. V rámci vedecko-výskumnej časti projektu boli navrhnuté, naprogramované a verifikované základné moduly malých vodných elektrární, z ktorých bol zostavený jej celkový model s uvažovaním fuzzy modelu účinnosti turbíny. Pre takto postavený model boli skúmané dynamické deje elektromechanickej časti pre tri základné fázy nábehu MVE, a to rozbeh turbíny na otáčky siete, pripojenie elektrogenerátora na elektrickú sieť a prepnutie MVE na reguláciu výkonu a tiež bolo navrhnuté riadenie hydromechanickej časti elektrárne a bola verifikovaná jeho funkčnosť na reálnych údajoch z MVE Dobšiná III. Výsledky projektu boli priebežne publikované v rámci vedeckých aj odborných konferencií a časopisov doma aj v zahraničí. Medzi najvýznamnejšie výstupy patrí 5 publikácií v zahraničných karentovaných časopisoch, 4 publikácie v zahraničných časopisoch indexovaných vo WOS, 6 publikácií v zahraničných a 7 publikácií v domácich vedeckých časopisoch, 3 publikácie v zborníkoch zo zahraničných konferencií, 10 publikácií v domácich recenzovaných zborníkoch a 2 publikácie v zborníkoch z domácich konferencií. Celkové zhrnutie výskumných výsledkov je publikované v rámci dizertačnej práce, ktorej obhajoba je plánovaná na august 2023 na KEM FEI TUKE.

V rámci projektu bola tiež podaná jedna prihláška vynálezu, týkajúca sa asynchrónnych

strojov, ktoré sú veľmi často používané v MVE ako elektrogenerátory. Emulátor je v súčasnosti umiestnený v laboratóriu KEM FEI TUKE.

Budúcim odberateľom výsledkov riešenia projektu bude na základe Rámcovej zmluvy o spolupráci a technickej pomoci č. 143/104001/20/D firma Energo Contro, s. r. o., Pri plynárni 2, 040 01 Košice.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

The main result of the project is a prototype of a universal emulator of small hydropower plants (SHP) with the possibility to realistically examine its energy subsystem, which is an asynchronous generator. Within the scientific research part of the project, the basic modules of small hydropower plants were designed, programmed and verified, from which the overall model was compiled with the consideration of the fuzzy model of the turbine efficiency.

For the model built in this way, the dynamic phenomena of the electromechanical part were investigated for the three basic phases of the start-up of the SHP, namely the start-up of the turbine to the network speed, the connection of the generator to the electric network and the switching of the SHP for power control, and also the control of the hydro-mechanical part of the hydropower plant was proposed and its functionality was verified on real data from MVE Dobšiná III.

The results of the project were continuously published in scientific conferences and journals at home and abroad. The most significant outputs include 5 publications in foreign current journals, 4 publications in foreign journals indexed in WOS, 6 publications in foreign and 7 publications in domestic scientific peer-reviewed journals, 3 publications in proceedings from foreign conferences, 10 publications in domestic peer-reviewed proceedings and 2 publications in proceedings from domestic conferences. The overall summary of the research results is published as part of the dissertation, the defense of which is planned for August 2023 at KEM FEI TUKE.

Within the project, one application for the invention was also submitted, regarding asynchronous machines, which are very often used in SHP as electric generators. The emulator is currently located in the KEM FEI TUKE laboratory.

The future customer of the results of the project solution will be company Energo Contro, s. r. o., Pri plynárni 2, 040 01 Košice based on the Framework agreement on cooperation and technical assistance no. 143/104001/20/D.