

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0571**

Výskum optimálneho riadenia toku energie v systéme elektrického vozidla

Zodpovedný riešiteľ **doc. Ing. Peter Drgoňa, PhD.**

Príjemca **Žilinská univerzita v Žiline - Fakulta elektrotechniky a informačných technológií**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Katedra mechatroniky a elektroniky
Fakulta elektrotechniky a informačných technológií
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 1
01026
Žilina

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Projekt bol riešený iba na pracovisku žiadateľa

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

UV - prijaté

[1] Praženica, Michal, Kaščák, Slavomír, Jarabicová, Miriam

Zapojenie na meranie obojsmerného prúdu, PUV 81-2019, UV. 8820, APVV-15-0571

Zverejnené PP

[2] Praženica, Michal, Kaščák, Slavomír

Zapojenie na meranie spínaného prúdu diferenciálnym zosilňovačom na spoločnej zemi, PP 85-2018, APVV-15-0571

[3] Praženica, Michal, Kaščák, Slavomír

Zapojenie na meranie prúdu prúdovým meracím zosilňovačom na virtuálnej zemi, PP 86-2018, APVV-15-0571

[4] Praženica, Michal, Kaščák, Slavomír, Koňarik, Roman

Zapojenie dvojfázového elektromotora riadené na spoločný prúd, PP 92-2018, APVV-15-0571

[5] Koňarik, Roman, Dobrucký, Branislav

Zapojenie dvojfázového elektromotora s použitím spínaného kondenzátora, PP 93-2018, APVV-15-0571

[6] Praženica, Michal, Dobrucký, Branislav, Kaščák, Slavomír

Modifikované zapojenie striedavého prenosu výkonu hybridného elektrického vozidla, PP 137-2018, APVV-15-0571

Podané PP

[7] Praženica, Michal, Kaščák, Slavomír, Jarabicová, Miriam

Zapojenie na meranie obojsmerného prúdu, PP 67-2019, APVV-15-0571

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

KAŠČÁK, Slavomír, PRAŽENICA, Michal, JARABICOVÁ, Miriam, KOŇARIK, Roman, Analysis of Four Phase Interleaved Boost Converter, In: TRANSACTIONS ON ELECTRICAL ENGINEERING, Vol. 6, No. 4, 2017, pp. 110-113, ISSN 1805-3386, ADE

JARABICOVÁ, Miriam, KAŠČÁK, Slavomír, PRAŽENICA, Michal Interleaved Boost Converter with Coupled Inductor – Theory and Application In: International Journal of New Technology and Research (IJNTR), Vol. 4, No. 4, 2018, pp. 91-96, ISSN 2454-4116, ADE

Dobrucký, Branislav, Kaščák, Slavomír, Praženica, Michal, Jarabíková, Miriam, Improving Efficiency of Hybrid Electric Vehicle Using Matrix Converters, In: ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA, Vol. 25, No. 4, 2019, pp. 29-35, ISSN 1392-1215, eISSN: 2029-5731, ADM, WoS, CC Q4

ŠPÁNIK Pavol, FRIVALDSKÝ Michal, ADAMEC Juraj, DANKO Matúš Battery Charging Procedure Proposal Including Regeneration of Short-Circuited and Deeply Discharged LiFePO₄ Traction Batteries In: Electronics 2020, 9(6), 929, ISSN 2079-9292, <https://doi.org/10.3390/electronics9060929>, ADC, CCC Q2

PRAŽENICA Michal, FRIVALDSKÝ Michal, MORGOS Ján, HANKO Branislav Comparison of perspective dual interleaved boost converters with demagnetizing circuit In: Electrical Engineering - Archiv für Elektrotechnik, SPRINGER, Vol. 102, Issue 1, 2020, pp. 13-25, ISSN 0948-7921, ISSN(e) 1432-0487, <https://doi.org/10.1007/s00202-019-00844-3>, ADC, CCC Q3

DOBRUCKÝ Branislav, ŠEDO Jozef, KOŇARIK Roman Combining DVR and UPS Techniques for an Uninterruptable Supply of Ultra-Sensitive Non-Linear Appliances In: ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA, Vol 26, No 3, 2020, pp. 28-35, ISSN 1392-1215, eISSN 2029-5731, <https://doi.org/10.5755/j01.eie.26.3.25769>, ADM, Q4

RESUTÍK Patrik, KAŠČÁK Slavomír, Heatsink design using iterative calculation and thermal simulation for three-phase inverter In: PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, Vol. 96, No. 12, 2020, pp. 63-66, ISSN 0033-2097, doi:10.15199/48.2020.12.11, ADM, Q4

Uplatnenie výsledkov projektu

V prvej časti projektu bol vytvorený matematický model systému, ktorý slúži ako východiskový bod pre dimenzovanie elektrických komponentov pohonu. Následne pomocou vyvinutého zariadenia je možné overiť energetické a výkonové parametre trakčného pohonu na reálnom zariadení v laboratórnych podmienkach v zmenšenej výkonovej mierke, čo je výhodnejšie ako simulovať tieto parametre pomocou matematického modelu. Získané výsledky môžu byť použité pri návrhu reálneho trakčného pohonu elektrického vozidla. Z uvedeného vyplýva, že deklarované výsledky majú vysokú mieru využiteľnosti v elektromobilitnej oblasti vývoja a výskumu pri tvorbe prototypov elektrických vozidiel. Simulátor trakčného pohonu bude mať taktiež vysokú mieru uplatnenia vo výučbovom procese v študijnom odbore Autotronika.

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

Počas riešenia projektu boli výsledky získavané postupne tak, ako boli riešené úlohy jednotlivých etáp.

Etapa 1 - porovnanie klasického obojsmerného znižujúco-zvyšujúceho meniča s prekladaným trojfázovým znižujúco-zvyšujúcim meničom, modelovanie, analýza a počítačová simulácia jednotlivých meničov – výber vhodnejšej topológie, simulácia celého modelu elektrického pohonu spolu s úsporným zapojením asynchrónnych motorov, trojfázovými strieďačmi, meničmi s aktívnym tlmením a vstupnými/prídavnými zdrojmi. Získané výsledky z riešenia Etapy 1: Topológia klasického obojsmerného znižujúco-zvyšujúceho meniča, Topológia prekladaného znižujúco-zvyšujúceho meniča a ich kritické provnanie, boli spracované simulácie oboch typov meničov, pričom boli získané poznatky o vlastnostiach oboch topológií. Celkový koncept simulátora pohonu elektrického vozidla bol podaný ako úžitkový vzor a bol prijatý v roku 2016. Bol zrealizovaný simulačný model celého trakčného reťazca elektrického vozidla. Na základe získaných výsledkov považujeme cieľ za splnený.

Etapa 2 - návrh meniča s aktívnym tlmením podľa výberu z prvej etapy, návrh pomocných

obvodov, návrh trojfázových striedačov a jeho pomocných obvodov, syntéza riadiacich algoritmov pre obojsmerné meniče, návrh dohliadacieho systému na monitorovanie a ovládanie systému s elektrickým pohonom, implementácia mikroprocesorového riadenia s DSP, prípadne s dSpace prostredím pre výskumné aj výučbové účely. Získané výsledky z riešenia Etapy 2: navrhnuté jednotlivé dosky plošných spojov vrátane pomocných a ochranných obvodov, návrh a riešenie topologického usporiadania 3f striedačov pre riadenie ASM. V rámci projektu boli vypracované 2 variantné riešenia topológií striedačov vrátane 3D modelov a tepelných modelov. Simulačný model trakčného pohonu bol doplnený o algoritmus regulácie konštantného napätia v medziobvode. Návrh zložiek regulátora pomocou softvéru Matlab vrátane implementovania efektov spojených so vzorkovaním mikroprocesora. Komplexná implementácia vektorového riadenia spolu s rekuperáciou v prostredí Matlab-Simulink. Navrhnutý algoritmus vektorového riadenia bol pomocou toolboxov Matlab TargetLink a Simulink Coder implementovaný do systému dSpace. Cieľ bol splnený.

Etapa E3 - stavba meničov s aktívnym tlmením, stavba trojfázových striedačov, stavba pomocných obvodov, skompletizovanie mechanického modelu s elektrickým pohonom, stavba skúšobného stanovišťa. Získané výsledky z riešenia Etapy 3: Skonštruovaný prototyp č.1 striedača vrátane jeho overenia - neuspokojivé výsledky. Skonštruovaný prototyp č.2 s vyhovujúcimi parametrami. Bol vykonaný návrh prekladanej topológie DC/DC meniča a overenie jej funkčnosti, pričom vybraná prekladaná topológia meniča znižuje vstupné a výstupné zvlnenie. Riadenie bolo vykonané pomocou TMS320F28069M a metódou generovania kódu v prostredí Matlab/Simulink. Skompletizovaný mechanický model s elektrickým pohonom, vrátane úprav oproti vecnému zámeru. Úlohy zadané v tejto etape boli splnené.

Etapa E4– experimentálne odskúšanie meniča s aktívnym tlmením spolu s riadiacim algoritmom a pomocnými obvodmi, experimentálne odskúšanie elektrického pohonu v jednotlivých jazdných stavoch, experimentálne odskúšanie dohliadacieho/monitorovacieho systému, experimentálne overenie celého systému spolu so zadávaním jazdných stavov. Získané výsledky z riešenia Etapy 4: Vyrobený prototyp č.2 vrátane upravených prvkov, výber prvkov striedača bol založený na výsledkoch riešenia projektu z predchádzajúcich rokov. Vylepšené budiace obvody, budiče sú integrované v smd puzdre. Doplnené ochranné obvody. Kompatibilita pre viacero riadiacich systémov – dSpace a MCU od Texas Instruments (Launchpad kits). Vytvorenie tepelnej simulácie meniča. V etape 4 bol v rámci dizertačnej práce vyrobený trojfázový prekladaný DC/DC menič riadený prostredníctvom CAN zbernice. Tento menič je využívaný na riadenie toku výkonu medzi superkapacitorom a batériovým zásobníkom. Nadradený algoritmus riadenia, ktorý zisťuje časť trakčného profilu, ktorá bude nasledovať. Grafické prostredie, umožňujúce užívateľovi zadávať jednotlivé jazdné stavy ako aj implementovať jazdný profil, získaný z reálnej prevádzky. Všetky úlohy tejto etapy boli vyriešené a cieľ bol splnený.

Na základe riešenia jednotlivých etáp a úloh projektu a na základe publikovaných výstupov projektu považujeme všetky ciele za splnené.

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

During the solution of the project, the results were obtained gradually as the tasks of the individual stages were solved.

Stage 1 - comparison of a classic bidirectional step-up converter with interleaved three-phase step-up converter, modeling, analysis and computer simulation of individual converters - selection of more suitable topology, simulation of the whole model of electric drive together with economical connection of asynchronous motors, three-phase inverters with active converters and input / additional sources. The obtained results from the solution of Stage 1: Topology of the classical bidirectional step-up converter, Topology of interleaved step-up converter and their critical analysis, simulations of both types of converters were processed, while knowledge about the properties of both topologies was obtained. The overall concept of the electric vehicle drive simulator was submitted as a utility model and was adopted in 2016. A simulation model of the entire traction chain of the electric vehicle was implemented. Based on the obtained results, we consider the goal to be met.

Stage 2 - design of inverter with active damping according to the selection from the first stage, design of auxiliary circuits, design of three-phase inverters and its auxiliary circuits,

synthesis of control algorithms for bidirectional inverters, design of supervisory system for monitoring and control of electrically driven system, implementation of microprocessor control, possibly with a dSpace environment for research and teaching purposes. Obtained results from the solution of Stage 2: designed individual printed circuit boards, including auxiliary and protective circuits, design and solution of topological arrangement of 3f inverters for ASM control. Within the project, 2 variant solutions of inverter topologies were developed, including 3D models and thermal models. The simulation model of the traction drive was supplemented by an algorithm of constant voltage regulation in the intermediate circuit. Design of controller components using Matlab software, including the implementation of effects associated with microprocessor sampling. Complex implementation of vector control together with recuperation in Matlab-Simulink environment. The proposed vector control algorithm was implemented into the dSpace system using Matlab TargetLink and Simulink Coder toolboxes. The goal has been met.

Stage E3 - construction of inverters with active damping, construction of three-phase inverters, construction of auxiliary circuits, completion of a mechanical model with electric drive, construction of a test station. Obtained results from the solution of Stage 3: Constructed prototype No. 1 of the inverter, including its verification - unsatisfactory results. Designed prototype No. 2 with suitable parameters. The design of the interleaved topology of the DC / DC converter and the verification of its functionality were performed, while the selected interleaved topology of the converter reduces the input and output ripple. The control was performed using TMS320F28069M and the method of code generation in the Matlab / Simulink environment. Completed mechanical model with electric drive, including adjustments to the material intent. The tasks assigned at this stage have been completed.

Stage E4 - experimental testing of the inverter with active damping together with the control algorithm and auxiliary circuits, experimental testing of the electric drive in individual driving conditions, experimental testing of the monitoring / monitoring system, experimental verification of the entire system together with entering driving conditions. Results obtained from the solution of Stage 4: Produced prototype No. 2, including modified elements, the selection of inverter elements was based on the results of the project solution from previous years. Improved driver circuits, drivers are integrated in a smd package. Added protection circuits. Compatibility for multiple control systems - dSpace and MCU from Texas Instruments (Launchpad kits). Creating a thermal simulation of the inverter. In stage 4, a three-phase interleaved DC / DC converter controlled via the CAN bus was produced as part of the dissertation. This converter is used to control the power flow between the supercapacitor and the battery pack. Superior control algorithm that detects the part of the traction profile that will follow. Graphical environment, enabling the user to enter individual driving conditions as well as to implement a driving profile obtained from real operation. All tasks of this stage were solved and the goal was met.

Based on the solution of individual stages and tasks of the project and on the basis of published project outputs, we consider all goals to be met.