

Výskumný tím

„Energeticky úsporné elektrotechnické zaradenia“

Katedra elektrotechniky a mechatroniky, FEI TUKE, Letná 9, 042 00 Košice
www.kem.fe.i.tuke.sk



Zoznam členov výskumného tímu

prof. Ing. Jaroslav Dudrik, CSc. – výskum a vývoj vysokofrekvenčných nepriamych jednosmerných meničov s mäkkým spínaním pre výkony rádovo jednotky až desiatky kW.

prof. Ing. Pavol Fedor, PhD. – vývoj nových riadiacich štruktúr a aplikácie moderných metód riadenia v oblasti elektrických pohonov a mnohorozmerných systémov.

prof. Ing. Daniela Perduková, PhD. – vývoj nových riadiacich štruktúr na báze prvkov umelej inteligencie pre oblasť pohonárskych komplexov a nelineárnych systémov.

doc. Ing. Jaroslava Žilková, PhD. – moderné metódy riadenia v oblasti elektrických pohonov a mechatronických systémov s využitím metód umelej inteligencie (neurónové siete a fuzzy systémy).

doc. Ing. Želmíra Ferková, PhD. – konštrukcia a modelovanie základných aj špeciálnych elektrických strojov, výpočty elektromagnetických a tepelných polí, využívanie genetických algoritmov v elektrických pohonoch.

doc. Ing. František Ďurovský, PhD. – moderné metódy riadenia elektrických pohonov a servopohonov (nelineárne riadenie a pozorovatele, stavové riadenie, aplikácia genetických algoritmov, emulátory záťažových momentov), regulácia technologických liniek, automobilová elektrotechnika.

doc. Ing. Viliam Fedák, CSc. – riadenie jedno- a mnohomotorových elektrických pohonov, identifikácia, modelovanie a simulácia mechatronických systémov, návrh grafických používateľských interfejsov pre riadenie mechatronických systémov.

Ing. Marek Pástor, PhD. – riadenie výkonových polovodičových meničov pripojených do elektrickej siete.

Ing. Milan Lacko, PhD. – návrh a konštrukcia výkonových meničov a elektroniky, návrh riadiacich obvodov pre výkonovú elektroniku a využitie mikrokontrolérov v rôznych aplikáciách.

Ing. Karol Kyslan, PhD. – prediktívne riadenie elektrických pohonov s konečným počtom akčných zásahov a dynamická emulácia záťaží s podporou Hardware-In-the Loop simulácie a metódy Rapid Control Prototyping.

Ing. Peter Girovský, PhD. – riadenie elektrických pohonov s využitím neuro a fuzzy riadenia, riadenie robotických systémov a aktuátorov pre robotické systémy.

Zameranie výskumu

Súčasná požiadavka na technické riešenia v oblasti priemyselnej výroby sú charakterizované vysokou intenzifikáciou, minimálnou spotrebou a optimalizáciou technologických procesov, čo úzko súvisí s aktuálnymi otázkami úspory energií, ktoré sú v súlade s prioritami výskumu na celom svete.

Výskum je preto zameraný na vývoj dokonalejších, úspornejších a rozmerovo menších a ľahších výkonových polovodičových meničov pre elektrotechnické systémy a v oblasti elektrických pohonov na návrh nových spôsobov riadenia pohonov s vysokou dynamikou s uvážením energetickej optimalizácie riadenia.

Význam a prínosy výskumu

Výskum nových typov výkonových polovodičových meničov je zameraný hlavne na oblasť vysokofrekvenčných nepriamych jednosmerných meničov s mäkkým spínaním pre veľké výkony (frekvencia desiatky až stovky kHz a výkony rádovo jednotky až desiatky kW). Cieľom výskumu je minimalizovať rozmery a hmotnosť meničov, tým znížiť materiálové a výrobné náklady, a zároveň dosiahnuť vysokú účinnosť použitím techniky mäkkého spínania. Predpokladom dosiahnutia uvedených cieľov je použitie nových perspektívnych polovodičových súčiastok na báze nových materiálov (SiC). Zvýšená rýchlosť spínania, nižšie prípustné straty, vyššia teplotná odolnosť týchto súčiastok umožnia redukcii rozmerov a hmotnosti pri zvýšenej účinnosti navrhovaných meničov.

Takéto meniče je možné využiť pre návrh a konštrukciu zdrojov konštantného alebo regulovateľného jednosmerného napätia alebo prúdu, hlavne pre väčšie výkony ako sú laboratórne zdroje, nabíjacie zariadenia, zväzacie zdroje, zdroje pre osvetľovaciu techniku, zdroje nepretržitého napájania, meniče pre obnoviteľné zdroje a podobne.

Cieľom výskumu nových štruktúr riadenia elektrických pohonov a servopohonov s vysokou dynamikou je zvýšenie presnosti riadenia rýchlosti a polohy servopohonov malého až stredného výkonu s uvážením elektrických a mechanických nelinearit poháňaného zariadenia. Takéto servopohony sú súčasťou pohonných modulov mechatronických komponentov v oblasti robotiky a riadenie pohybu, kde sú kladené zvýšené požiadavky na spoľahlivosť, presnosť, robustnosť a energetickú úspornosť. V uvedenej oblasti Katedra elektrotechniky a mechatroniky v rámci spoločného združeného laboratória zameraného na vývoj integrovaných mechatronických pohonných modulov spolupracuje s firmou Spinea Prešov – výrobcou presných prevodoviek a ZTS VVÚ Košice.

Riešenie aktuálnych problémov

Výskum výkonových polovodičových meničov pre elektrotechnické systémy sa uskutočňuje v dvoch oblastiach:

– **Meniče pre zdroje jednosmerného napätia a prúdu pre oblasti obnoviteľných zdrojov energie, zväzacej a automobilovej techniky.**

Výskum v tejto oblasti je orientovaný hlavne na:

- vysokofrekvenčné nepriame jednosmerné meniče s mäkkým spínaním pre zdroje veľkých výkonov (rádovo jednotky až desiatky kW), kde sa prednostne používajú IGBT tranzistory;
- vypínanie IGBT tranzistorov v nule prúdu kvôli eliminácii vplyvu prúdového chvosta, ktorý má výrazný podiel pri vytváraní vypínacích strát;
- schopnosť meničov udržať mäkké spínanie pri zmenách záťaže
- a na schopnosti rôznych prídavných obvodov v meničoch rekuperovať reaktívnu energiu rozptylovej alebo parazitnej indukčnosti do záťaže alebo do napájacieho zdroja.

Základné princípy niektorých z týchto meničov boli už čiastočne overované simuláciou a aj osciloskopickou analýzou na zjednodušených laboratórnych modeloch. Podľa doterajších výsledkov sa ukazuje, že bude možné v nich dosiahnuť, aby výkonové polovodičové spínače v týchto meničoch pracovali pri takmer ideálnych spínacích pomeroch.

– **Meniče pre BLDC motory.**

Výskum v oblasti meničov pre BLDC motory je orientovaný hlavne na znižovanie rozmerov výkonovej časti striedačov, kde sa v prevažnej miere používajú nízkonapäťové MOSFET tranzistory. Aby bolo možné minimalizovať rozmery, je potrebné znížiť oteplenie meniča, čiže celkové straty, kde najväčší podiel majú prípustné straty. V praxi sa ukazuje, že je snaha o implementáciu meniča do puzdra BLDC motora, prípadne je snaha o vytvorenie jedného celku: menič + BLDC motor + prevodovka. V prípade elektromobilov sa jedná o umiestnenie BLDC motora do náboja kolesa ideálne spolu s meničom, v robotických aplikáciách je snaha o vytvorenie celku (servomotor, kĺb) menič + BLDC + presná prevodovka.

Teoretické návrhy meničov sú vždy matematicky analyzované, popísané a následne overené počítačovou simuláciou. Na základe simulačných výsledkov je urobený konštrukčný návrh a výroba jedného alebo viacerých laboratórnych modelov meničov na experimentálne overenie nových princípov a spôsobov ich činnosti. Takto získané a overené výsledky sú podkladom pre patenty alebo kvalitné publikačné výstupy.

Výskum nových štruktúr riadenia elektrických pohonov s vysokou dynamikou s uvážením energetickej optimalizácie riadenia je orientovaný hlavne na:

- zvýšenie presnosti riadenia rýchlosti a polohy vysoko dynamických elektrických pohonov malého až stredného výkonu
 - pomocou kompenzácie mechanických a elektrických nelinearit poháňaného zariadenia;
 - a meraním veličín umožňujúcim identifikáciu porúch, ako je zmena záťaže či parametrov pohonu;
- energetickejšiu optimalizáciu riadenia na základe zvoleného kritéria.

Zvýšenie presnosti riadenia je možné dosiahnuť aj meraním veličín umožňujúcim identifikáciu porúch, ako je zmena záťaže či parametrov pohonu. Identifikácia porúch a parametrov pohonu počas jeho činnosti umožní úpravu matematického modelu pohonu a prispôsobenie riadenia tak, aby boli dosiahnuté požadované vlastnosti riadenia (presnosť riadenia a energetická optimalizácia).

Vlastnosti nových štruktúr riadenia sú overované číslicovou simuláciou a experimentálnymi meraniami na konkrétnych pohonoch alebo pomocou metódy HIL simulácie na vybudovanom experimentálnom pracovisku KEM. Na overovanie regulačných štruktúr pohonov pri zaťažení používame metódy tzv. dynamickej emulácie záťažového momentu. Ide o moderné metódy riadenia zaťažovacieho pohonu, ktoré s využitím modelu mechanickej záťaže dokážu oproti klasickým dynamometrom presnejšie emulovať jej charakteristiky.

Riešené projekty

Grantové projekty:

1. *Výskum nových princípov a metód pre návrh elektrotechnických systémov.*
VEGA, 1/0464/15, 2015-2017
zodpovedný riešiteľ: prof. Ing. Jaroslav Dudrik, PhD.
2. *Aplikácia metód umelej inteligencie v riadení priemyselných systémov.*
VEGA, 1/0006/10, 2010-2011
zodpovedný riešiteľ: prof. Ing. Jaroslav Timko, PhD.
3. *Výskum výkonových polovodičových meničov pre priemyselné a elektroenergetické aplikácie.*
VEGA, 1/0368/09, 2009-2011
zodpovedný riešiteľ: prof. Ing. Jaroslav Dudrik, PhD.
4. *E-MLAB súbor originálnych laboratórnych pracovísk pre podporu a rozšírenie možnosti výskumno-výučbových laboratórií v odbore Mechatronika.*
KEGA, 011TUKE-4/2013, 2013-2015
zodpovedný riešiteľ: prof. Ing. Daniela Perduková, PhD.
5. *Výskum výkonových polovodičových meničov s vysokou účinnosťou premeny elektrickej energie.*
APVV, APVV-0185-10, 2011-2014
zodpovedný riešiteľ: prof. Ing. Jaroslav Dudrik, PhD.

Projekty zo Štrukturálnych fondov EÚ

1. *Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií.*
ITMS 26220220182, 2013-2015,
Zodpovedný riešiteľ za časť riešení na KEM (Pilotný projekt 2 v rámci aktivity 3.2):
doc. Ing. František Ďurovský, PhD.
2. *Výskum modulov pre inteligentné robotické systémy.*
ITMS kód projektu: 26220220141. Prijímateľ: ZTS Výskumno-vývojový ústav Košice, a.s. (2011-2014). Partner projektu: TU Košice.
Zodpovedný riešiteľ za časť riešení na KEM TUKE: doc. Ing. František Ďurovský, PhD.
3. *Centrum excelentnosti výkonových elektronických systémov a materiálov pre ich komponenty.*
Projekt ESF, č. zmluvy 028/2009/2.2/OPVaV, ITMS-NFP26220120003, 1. etapa, 05/2009 - 04/2011, ITMS-NFP26220120046, 2. etapa, 9/2010-8/2013 (partner).
Zodpovedný riešiteľ na TU: prof. Ing. Jaroslav Dudrik, PhD.

4. *Vývoj nízkoenergetického statického zdroja pre elektrosystémy.*
ITMS 26220220029, 2010-2011,
Zodpovedný riešiteľ: prof. Ing. Pavol Fedor, PhD.

Spolupráca s akademickými inštitúciami a priemyslom

Spolupráca s univerzitami

- Technická universita, Liberec, Česká republika
- Vysoké učení technické, Brno, Česká republika
- VŠB - Technická universita, Ostrava, Česká republika
- Technische Universiteit, Delft, Holandsko
- Sveučiliště u Zagrebu, Chorvátsko
- Universitatea din Oradea, Rumunsko
- Univerza v Mariboru, Slovinsko
- Montanuniversität Leoben, Rakúsko
- Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Maďarsko

Spolupráca s priemyslom

- Spinea, s.r.o. Prešov
- SEZ Krompachy a.s.
- Kybernetika, s.r.o. Košice
- U.S.Steel Košice s.r.o.
- Siemens s.r.o. Košice
- ZTS VVÚ Košice, a.s.
- Energo Control s.r.o. Košice
- Združené laboratórium pre integrované mechatronické moduly pre adaptívne pohony (IMMAP). Zriaďovatelia: Technická univerzita Košice, FEI, ZTS VVÚ Košice, a.s., Spinea, s.r.o. Prešov.

Vybrané projekty riešené pre prax

1. Skúšobný stand na meranie aktuátorov. Pre ZTS VVÚ, a.s., Košice. 2011.
2. Tester pre hodinové skúšky ističov pre SEZ Krompachy, 2008-2010 (v rámci projektu APVV 0287-07).
3. Riadenie pohonov priečne deliacej linky pre Atenic Commerce, d.o.o. Čačak (Srbsko). Subdodávka pre fa Kybernetika, s.r.o., Košice, 2008.
4. Riadenie pohonu letmých nožníc na hrubej deliacej linke DZ Teplá valcovňa U.S. Steel Košice, s.r.o. Subdodávka pre fa Kybernetika, s.r.o., Košice, 2007.
5. Pohon vertikálneho lámača okovín na prípravnom poradí TŠP U.S. Steel Košice. Subdodávka pre fa Kybernetika, s.r.o., Košice, 2007.
6. Tester 1 tepelnej spúšte ističov pre SEZ Krompachy, 2006-2007.
7. Tester magnetickej spúšte ističov pre SEZ Krompachy, 2004-2005.
8. Modernizácia meničov a riadenia Navíjačky č.3 pre U.S. Steel Košice, s.r.o. Subdodávka pre fa Siemens s.r.o. Košice, 2005.
9. Modernizácia meničov a riadenia súboru Odsuvné cesty navíjačiek pre DZ Teplá valcovňa U.S. Steel Košice, s.r.o. Subdodávka pre fa Siemens s.r.o. Košice, 2005.
10. Tester 2 tepelnej spúšte ističov pre SEZ Krompachy, 2004-2005.
11. Technické analýzy pohonárskej techniky a veľkých elektromotorov.

Vybrané publikácie

ADC – Vedecké články v zahraničných karentovaných časopisoch

1. Dudrik, J., Bodor, M., Pástor, M.: Soft Switching Full – Bridge PWM DC - DC Converter with Controlled Output Rectifier and Secondary Energy Recovery Turn - Off Snubber. IEEE Transactions on Power Electronics. Vol. 29, no. 8 (2014), p. 4116-4125. ISSN 0885-8993
2. Balara, D.; Timko, J.; Žilková, J.: Application of Neural Network Model for Parameters Identification Of Non-Linear Dynamic System, NEURAL NETW WORLD, 23 (2): 103-116 (2013)
3. Perduková, D., Fedor, P.: Virtual Laboratory for the Study of Technological Process Automation. International Journal of Engineering Education. TEMPUS Publications 2013. Great Britain, Vol. 29, No. 1, pp. 230-238 (2013). ISSN 0949-149X
4. Žilková, J.; Timko, J.; Girovský, P.: Modelling and Control of Tinning Line Entry Section Using Neural Networks. INT J SIMUL MODEL, 11 (2): 97-109 2(2012), DOI: 10.2507/IJSIMM11(2)4.210
5. Dudrik, J., Trip, N. D.: Soft- Switching PS-PWM DC-DC Converter for Full-load Range Applications. IEEE Transactions on Industrial Electronics, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, no. 8 (2010), p. 2807-2814. ISSN 0278-0046

ADM – Vedecké práce v zahraničných časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo Scopus

1. Pástor, M., Dudrik, J.: Predictive control of grid-connected multilevel inverter with output LCL filter. Elektronika ir Elektrotechnika. Vol. 21, no. 3 (2015), p. 10-15. ISSN 1392-1215 (IF=0.561)
2. Fedák, V., Ďurovský, F., Üveges, R., Kyslan, K.: HIL Simulator of Drives of an Industrial Robot with 6 DOF. Elektronika Ir Elektrotechnika. Vol. 21, no. 2 (2015), p. 14-19. ISSN 1392-1215 (IF=0.561)
3. Pástor, M., Dudrik, J.: Comparison of MPC and PI controller for grid-connected cascade inverter. Elektronika ir Elektrotechnika. Vol. 20, no. 6 (2014), p. 46-50. ISSN 1392-1215 (IF=0.561)

Patenty

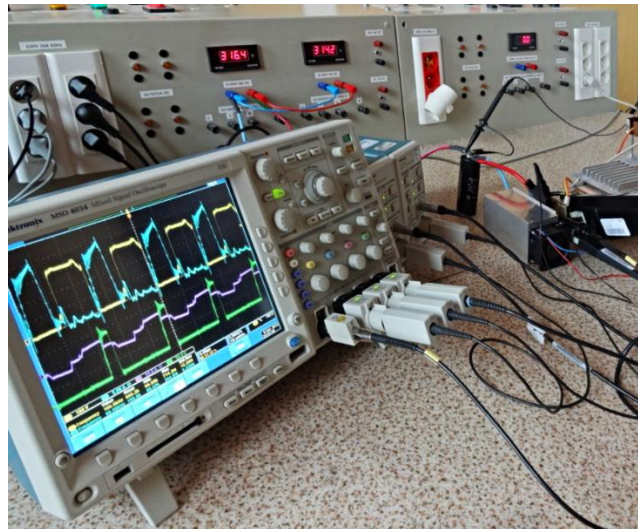
1. Dudrik, J.: Prídavný obvod pre riadený rozbeh zdroja. Patent č. 287189, patent podaný 29.3.2006, č. prihlášky: PP 59-2006, udelený 8.2.2010.
2. Dudrik, J., Lacko, M.: Bezstratový obvod na zníženie vypínacích strát meniča. Patent č. 287292, patent podaný 31.7.2006, č. prihlášky: PP 112-2006, udelený 7.5.2010.
3. Dudrik, J.: Prídavné obvody na dosiahnutie spínania v nule prúdu v nepriamych jednosmerných meničoch so šírkovým riadením. Patent č. 287742, patent podaný 21.11.2007 č. prihlášky PP 0144-2007, udelený 4.8.2011.
4. Dudrik, J., Ruščin, V., Bodor, M.: Bezstratový obvod na zníženie vypínacích strát v nepriamom jednosmernom meniči s výstupným riadeným usmerňovačom. Patent č. 287977, patent podaný 16.5.2008, č. prihlášky: PP 112-2006, udelený 12.6.2012.
5. Dudrik, J.: Spôsob riadenia mätko spínaného nepriameho jednosmerného meniča s riadeným usmerňovačom. Patent podaný 2.12.2011, č. prihlášky: PP 00136-2011.
6. Dudrik, J., Bodor, M.: Spôsob riadenia nepriameho jednosmerného meniča s mätkým spínaním so sekundárnym riadeným usmerňovačom s dvoma sekundárnymi spínačmi. Patent podaný 14.2.2012, č. prihlášky: PP 00012-2012.

7. Dudrik, J.: Odľahčovací obvod na zníženie spínacích strát polovodičových spínačov v DC-DC meničoch so šírkovým riadením. Patent podaný 16.12.2013, č. prihlášky: PP 00111-2013.
8. Dudrik, J.: Zapojenie na zníženie vypínacích strát a prepätí sekundárnych spínačov v nepriamych jednosmerných meničoch so šírkovým riadením. Patent podaný 19.6.2015, č. prihlášky: PP 00046-2015.
9. Dudrik, J., Pástor, M., Lacko, M.: Zapojenie spínača s mäkkým spínaním na sekundárnej strane transformátora v DC-DC meničoch so šírkovým riadením. Patent podaný 28.12.2015, č. prihlášky: PP 00113-2015.

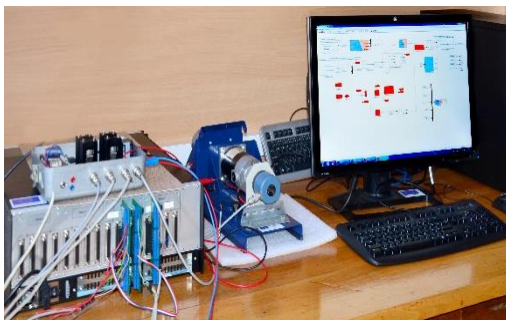
Fotografická dokumentácia



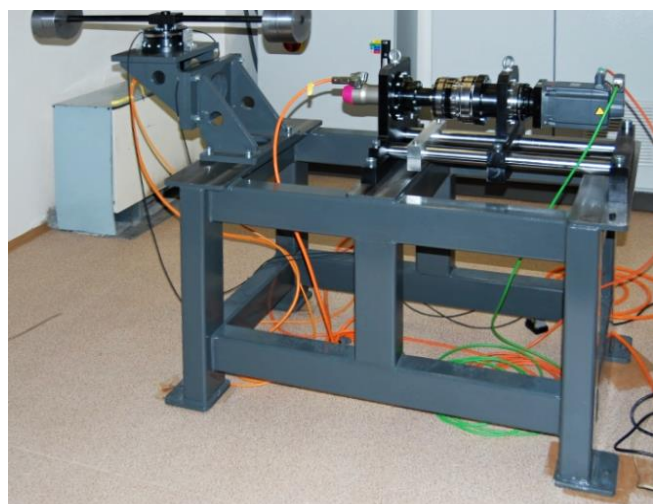
Pracovisko HIL simulácie (Hardware-In-Loop) pre verifikáciu metód riadenia pohonárskych systémov



Pracovisko výskumu a vývoja nových štruktúr výkonových polovodičových meničov



Pracovisko pre Hardware-in-the-loop simulácie a Rapid Control Prototyping



Pracovisko pre zaťažovanie elektrických pohonov modernými metódami dynamickej emulácie