

HIL simulácia mechatronických systémov s využitím komerčných meničov

Technológia Hardware-in-the-loop (HIL) simulácií sa stala štandardom pri overovaní riadenia mechatronických systémov. Príspevok opisuje HIL simulátor založený na platforme RT-LAB™, využívajúci prostredie MATLAB/Simulink. Reálna sústava je tvorená komerčnými výkonovými meničmi SIEMENS a elektromotormi. Uvedená zostava bola použitá na riadenie emulátora záťažových momentov.

Úvod

Pri vývoji riadiacich algoritmov mechatronického systému je dôležitou fázou simulácia, pri ktorej sa pomocou matematického modelu overuje správnosť návrhu. Použitie číslicových počítačov umožňuje simulovať rozsiahle dynamické systavy s minimálnymi zjednodušeniami. Pri zložitých modeloch trvá číslicová simulácia podstatne dlhšie, ako prebehne simulovaný dej v skutočnosti. Ak sa požaduje simulácia modelu v reálnom čase, treba použiť špeciálny vysoko výkonný simulačný hardvér a softvér. Ak je hardvér na simuláciu v reálnom čase vybavený DAQ kartami, pomocou ktorých je spojený s reálnym zariadením, umožní sa tým tzv. Hardware-in-the-loop simulácia. Vzniká HIL systém, v ktorom je časť modelu nahradená reálnym zariadením. To značne urýchľuje proces návrhu riadenia. Použitie HIL systémov pri návrhu riadenia elektrických pohonov však naráža na niekoľko problémov. Na čo najreálnejšie testovanie navrhnutého riadenia treba pre pohon vytvoriť také laboratórne podmienky, resp. takú záťaž, aká bude v reálnej prevádzke, čo nie je z priestorového a ekonomického hľadiska vo väčšine prípadov možné. Ďalším problémom je skutočnosť, že HIL simulácia sa realizuje na inom hardvéri a softvéri, než bude využívať reálny pohon. Preto sa odladený algoritmus riadenia musí prepisovať do prostredia reálneho zariadenia, čo prináša možnosť vnesenia chýb a nutnosť opätovného ladenia. Oba tieto problémy rieši zariadenie opisované v nasledujúcej časti.

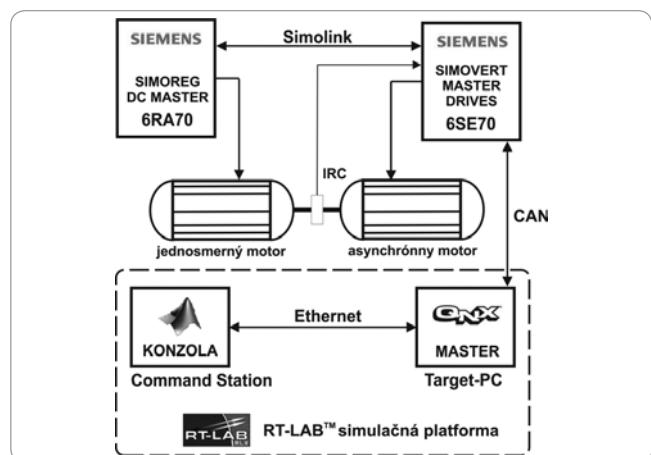
1. Opis použitého simulačného hardvéru a softvéru

Na HIL simuláciu sú v ponuke produkty viacerých firiem, napr. Real-time Toolbox prostredia Matlab, produkty od firmy dSPACE a menej známe produkty kanadskej spoločnosti OPAL-RT Technologies. Na realizáciu emulátora záťažovacieho momentu bola zvolená decentralizovaná platforma RT-LAB™ od spoločnosti OPAL-RT, nakoľko oproti porovnateľným produktom iných spoločností je cenovo dostupnejšia a s minimálnymi úpravami ju možno použiť na bežných PC. Systém RT-LAB má špeciálnu knižnicu blokov, ktorá sa po inštalácii sprístupní v prostredí Simulinku. Knižnica obsahuje všetky bloky, ktoré sú potrebné na to, aby mohol používateľ model vyvinutý v Simulinku simulovať aj v reálnom čase v prostredí RT-LAB. Pôvodne vyvinutý model v Simulinku je v RT-LAB rozdelený na subsystemy. Tie možno konfigurovať na rôznych zostavách a použitím viacerých PC zvyšovať výkon systému. Pri realizácii emulátora bola použitá konfigurácia s jedným Target PC (Master) a jedným Host PC (Command Station).

Host PC je osobný počítač s operačným systémom Windows XP Professional a nainštalovaným systémom RT-LAB™. Target PC je výkonný osobný počítač so štvorjadrovým procesorom a s operačným systémom QNX v.6. Od výkonu Target PC závisí, aké zložité schémy možno pri danej dobe vzorkovania simulovať. Použitý operačný systém QNX vyvinula spoločnosť QNX Software Systems ako komerčný systém UNIX-ového typu, pracujúci v reálnom čase, no vydaný je aj bezplatný variant na nekomerčné použitie. Je to spoľahlivý operačný systém na riadenie priemyselných a technologických aplikácií, real-time procesov, ale aj zabudovaných systémov, a vo svojej kategórii sa považuje za najúspešnejší.

Host PC a Target PC komunikujú cez štandardný protokol Ethernet. Target PC je vybavený komunikačnou kartou CAN-ACx-PCI od spoločnosti Softing AG, ktorá umožňuje komunikáciu po CAN zbernici cez dva nezávislé fyzické kanály. Cez túto kartu prebieha

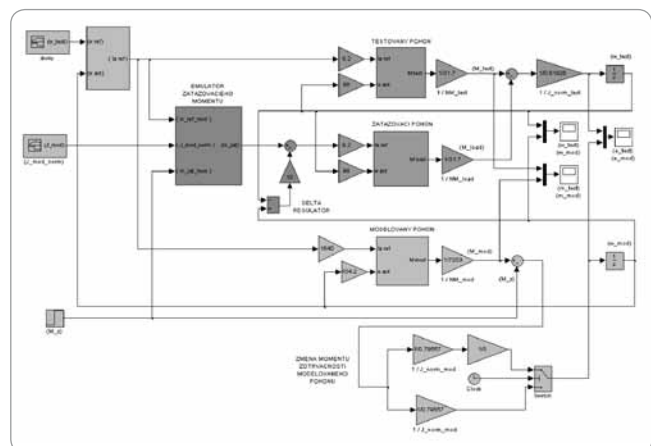
komunikácia s reálnou sústavou. Reálnu sústavu tvorí dvojica motorov na spoločnom pevnom hriadeľi, napájaná rekuperačnými meničmi SIEMENS. Jednosmerný cudzobudený motor, pre ktorý sa testuje riadenie, je napájaný tyristorovým usmerňovačom Simoreg DC Master 6RA70. Asynchrónny motor s kotvou nakrátko predstavuje záťaž a je napájaný frekvenčným meničom Simover Master Drives 6SE70. Pre vzájomnú rýchlu komunikáciu sú oba meniče vybavené rozhraniami na optickú linku s protokolom SIMOLINK. Celková zostava je znázornená na obr. 1.



Obr. 1.: HIL systém s komerčnými meničmi

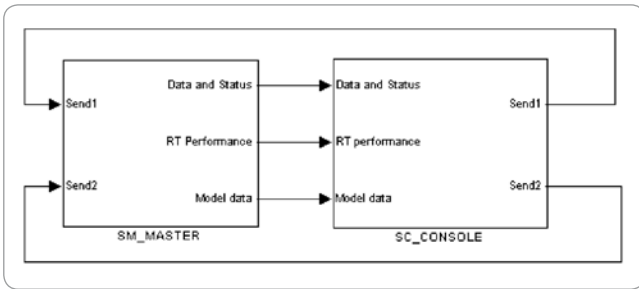
2. Vývoj modelu pre systém RT-LAB

V úvodnej fáze návrhu riadenia bol zostavený matematický model v prostredí MATLAB/Simulink (obr. 2). Ďalšou fázou bola implementácia modelu do systému RT-LAB. Zostavený model bol podľa požiadaviek RT-LAB rozdelený na subsystemy master a konzola (obr. 3) a doplnený špeciálnymi blokmi potrebnými na komunikáciu s reálnymi zariadeniami, blokmi na zadávanie a zobrazovanie hodnôt, blokmi na zobrazovanie výpočtového výkonu systému atď. Ďalej boli navrhnuté a realizované potrebné normovania veličín. Následne bol systém vybavený už spomínanou komunikačnou kartou a spojený s reálnymi meničmi a motormi. Vznikol HIL hybridný model s emulátorom záťažovacieho momentu. Algoritmy navrhovaného



Obr. 2.: Simulačná schéma emulátora záťažovacieho momentu

riadenia možno realizovať buď v simulátore (s väčším používateľským komfortom, no nutným následným prepisom algoritmu do prostredia reálneho zariadenia), alebo priamo v meniči, či už pomocou voľných blokov, prídavnej karty (napr. T400) alebo aplikačného kontroléra.

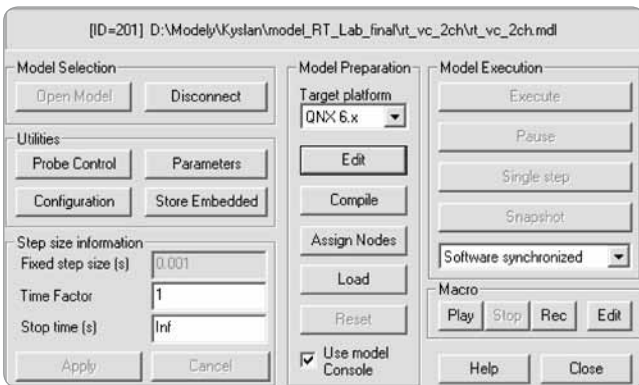


Obr. 3.: Implementácia do systému RT-LAB

3. Práca v systéme RT-LAB

Po úprave modelu do podsystémov master a konzola, ako je to znázornené na obr. 3, je model pripravený na použitie v prostredí RT-LAB Main Control (obr. 4). Voľbou Open Model sa otvorí model v prostredí MATLAB/Simulink. Voľba Edit slúži na dodatočnú editáciu. Po ukončení všetkých úprav sa voľbou Compile prekompiluje model do jazyka C a voľbou Load sa nahrá podsystém SM_MASTER (master) do Target PC. Voľbou Execute sa spúšťa simulácia v reálnom čase. Po spustení simulácie sa v Command Station automaticky otvorí vygenerované okno s podsystémom SC_CONSOLE (konzola). Simuláciu možno kedykoľvek zastaviť pomocou voľby Pause. Voľba Reset slúži na vymazanie podsystému z Target PC. Na prípadné použitie iného modelu sa práve používaný model odpojí voľbou Disconnect. Pevná vzorkovacia frekvencia sa nastavuje v okne Fixed step size, pričom táto hodnota sa musí zhodovať s hodnotou nastavenou v Simulinku.

V podsystéme master nahranom v Target PC prebieha simulácia v reálnom čase a komunikácia s reálnymi objektmi. Podsystém konzola sa vykonáva v Host PC a počas simulácie slúži na zadávanie referenčných veličín a on-line vizualizáciu výsledkov simulácie (obr. 5).



Obr. 4.: Používateľské rozhranie systému RT-LAB

4. Opis komunikácie

Model simulovaný v reálnom čase v Target PC možno rozdeliť do štyroch funkčných častí:

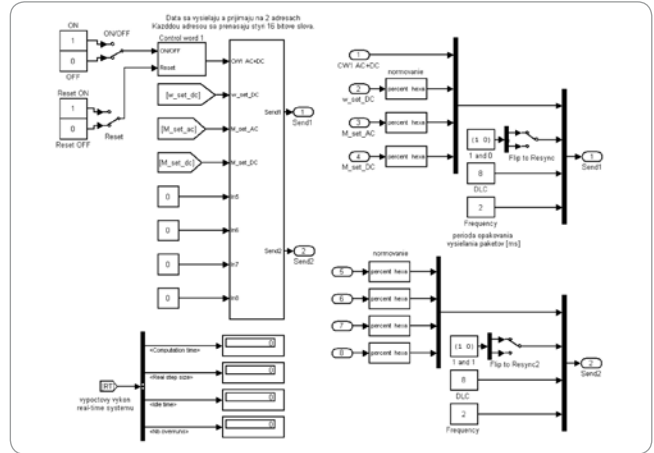
- 1) model emulovanej záťaže v absolútnych veličinách,
- 2) bloky na normovanie,
- 3) emulátor zaťažovacieho momentu v pomerných veličinách,
- 4) bloky na komunikáciu po CAN zbernici a na vyhodnocovanie výkonu RT systému.

Do štruktúry modelu v Target PC nemožno za behu simulácie zasiahnuť a jedinou možnosťou je vytiahnuť si potrebné veličiny do konzoly. Tok dát v zostave Target PC-Host PC (ďalej len master-konzola) je nasledujúci:

- model v mastri vypočíta referenčné veličiny v pomerných hodnotách, ktoré sa posielajú do konzoly,
- v konzole sa referenčné veličiny normujú z pomerných hodnôt do hexadecimálneho vyjadrenia a spolu s riadiacim slovom sa

posielajú naspäť do mastra, ktorý zabezpečuje komunikáciu po CAN zbernici,

- v konzole možno ovládať meniče – cez zmenu príslušných bitov riadiaceho slova sa meniče zapínajú a kvituje sa porucha,
- v mastri sa realizuje výber konkrétnych signálov z dát prijatých po CAN zbernici a ich normovanie z hexadecimálneho vyjadrenia do pomerných veličín, signály sa následne privádzajú ako spätná väzba do príslušných modelov alebo sa posielajú do konzoly, kde sa filtrujú tak, aby sa dali on-line vizualizovať štandardnými blokmi.



Obr. 5.: Časť podsystému SC_CONSOLE (konzola)

5. Emulátor zaťažovacieho momentu

Emulácia vo všeobecnosti predstavuje napodobenie systému alebo jeho časti iným systémom alebo technickým prostriedkom tak, že napodobňujúci systém vykazuje rovnaké správanie a pre rovnaké vstupné údaje poskytuje rovnaké výsledky ako napodobňovaný systém. Systém, ktorý napodobňuje správanie iného systému, sa potom nazýva emulátor.

Pri návrhu regulácie pre elektrické pohony a mechatronické systémy sa emulátorom výhodne napodobňuje technologické zariadenie, ktoré buď nie je dostupné, alebo na ňom nemožno z prevádzkových dôvodov experimentovať. Ide napríklad o situáciu, keď sa v laboratóriu vyvíja regulačný algoritmus na pohon s veľkým výkonom, pohon napájaný z vvn siete, mnohomotorový pohon s väzbami cez spracúvaný materiál a pod. Navyše z priestorového a ekonomického hľadiska by nebolo praktické, aby v laboratóriu boli k dispozícii všetky typy mechanických záťaží. Najvhodnejším riešením je preto emulácia mechanickej záťaže elektrickými prostriedkami, čím sa dosiahne realizovateľnosť a opakovateľnosť rôznych typov zaťaženia za rovnakých podmienok.

Riadiace obvody väčšiny komerčných meničov pracujú v pomerných veličinách, preto je výhodné navrhnuť emulátor na prácu s pomernými veličinami. Použitie pomerných veličín umožňuje na pohonoch s malým výkonom testovať riadiace algoritmy aj pre veľké pohony. Pri správnom nastavení noriem v blokoch normovania možno k emulátoru pripojiť ľubovoľný model záťaže v absolútnych veličinách.

V literatúre možno nájsť viacero koncepcií dynamickej emulácie, napr. [2], [3] alebo [4]. Emulátor zaťažovacieho momentu, čiastočne prezentovaný v príspevku, bol vyvinutý v dvoch etapách. V prvej etape [5] bolo nadradené riadenie realizované v PLC Simatic S7-400 pomocou technologickej karty FM-485-1. V tomto štádiu emulátor ešte nezohľadňoval zmeny momentu zotrvačnosti emulovaného zariadenia, avšak zabezpečila sa priama prenositeľnosť odladeného riadenia. V druhej etape sa riadenie realizovalo na spomínanom systéme reálneho času RT-LAB s emulátorom so zlepšenou dynamikou, ktorý už zohľadňoval zmeny momentu zotrvačnosti v emulovanom zariadení. Podrobnejšie informácie o emulátore vrátane simulačných a experimentálnych priebehov možno nájsť v [6] – [8].

Záver

Pre elektrické pohony existuje viacero konceptov HIL simulácie [1]. Prezentovaná koncepcia je tzv. HIL simulácia na mechanickej úrovni, kde modelom je nahradená len nadradená regulácia a vo zvyšku regulačnej slučky sú reálne komerčné zariadenia, čo zvyšuje presnosť modelovania. Výhodou je použitie pomerných veličín, najmä pri testovaní pohonov s veľkým výkonom, ktoré treba zaťažovať vysokými záťažovými momentmi a momentmi zotrvačnosti. Takéto podmienky nie sú v laboratóriu reálne, ale možno ich namodelovať. Zostava umožňuje overovanie riadiacich algoritmov pre meniče v laboratórnych podmienkach tým, že dovoľuje simulovať premenlivé zaťaženie Mz a premenlivý moment zotrvačnosti Jz bez mechanických zásahov do pohonu. Mz a Jz generovaný nadradeným riadením môže predstavovať reálne zaťaženie samostatného pohonu aj pohonu zaradeného do výrobných linky vrátane vzájomných väzieb cez spracúvaný materiál. Zostava sa dá využiť na overovanie regulácie pohonov liniek a robotov, ako aj na overovanie reakcie zariadenia v kritických stavoch. Uplatnenie nájde aj vo výučbe riadenia elektrických pohonov a mechatronických systémov.

Podakovanie:

Článok vznikol s podporou agentúry KEGA v rámci projektu č 103-039 TUKE-4/2010 Rozvoj zručností študentov pri riadení mechatronických sústav.

Literatúra

- [1] BOUSCAYROL, A.: Different types of Hardware-In-the-Loop simulation for electric drives. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 6 – 7, 2008, s. 2 146 – 2 151. ISBN 978-1-4244-1665-3.
- [2] AKPOLAT, Z. H. – ASHER, G. M. – CLARE, J. C.: Dynamic emulation of mechanical loads using a vector-controlled induction motor-generator set. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 46, no. 2, pp. 370 – 379, Apr. 1999.
- [3] MACKO, R. – ŽALMAN, M. – UHRÍČEK, M.: Programovateľný emulátor mechanických záťaží pre motory. In: AT&P žurnál 2/2005. s. 92 – 95. ISSN 1335-2237.
- [4] RODIC, M. – JEZERNIK, K. – TRLEP, M.: Dynamic emulation of mechanical loads – position control approach. Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC), 2010 14th International, vol., no., pp. S10-23-S10-30, 6-8 Sept. 2010
- [5] FETYKO, J. – ĎUROVSKÝ, F. – REINER, J. – FEDÁK, V.: Load Share Control of Roughing Mill Vertical Rolls at Hot Strip Rolling Mill. In: Electrical Drives and Power Electronics: EDPE 2007. 9. Vysoké Tatry, Slovakia. ISBN 978-80-8073-868-6.
- [6] ĎUROVSKÝ, F. – FETYKO, J. – FEDÁK, V.: Testovanie pohonov s emulátorom záťažového momentu. In: Strojárstvo. roč. 8, č. 5 (2009), s. 8/1 – 8/5. ISSN 1335-2938.
- [7] ĎUROVSKÝ, F. – FETYKO, J. – FEDÁK, V.: Emulátor záťažového momentu so zlepšenou dynamikou. In: Automatizácia a riadenie v teórii a praxi ARTEP 2009. Stará Lesná, SR. 3, 2009, s. 82-1-82-13. ISBN 978-80-553-0164-4.
- [8] ĎUROVSKÝ, F. et al.: Emulation of a winder drive. In: EDPE 2009: Abstracts & CD Proceedings of 15th International Conference on Electrical Drives and Power Electronics, 4th Joint Croatia-Slovakia Conference: October 12 – 14, 2009, Dubrovnik, Croatia. Zagreb: KoREMA, 2009. 5 p. ISBN 978-953-6037-56-8.

Ing. Karol Kyslan
Ing. Peter Keusch
Doc. Ing. František Ďurovský, PhD.

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektrotechniky a mechatroniky
Letná 9, 042 00 Košice

karol.kyslan@tuke.sk
peter.keusch@tuke.sk
frantisek.durovsky@tuke.sk