

Design of an Innovative Triple-Shaft Sports Sequential Gearbox with Tandem Electronic Shifting

Výstup: D5_3- Výsledky z testov nových radiacích valcov.technickými špecifikáciami

Pracovný balík: WP5

Číslo projektu: 09I03-03-V04-00644



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

„Financované EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č. 09I03-03-V04-00644“.

1. Úvod a ciele testovania

Cieľom testovacej fázy bolo experimentálne overiť funkčné a dynamické vlastnosti nového mechatronického systému radenia, ktorý bol navrhnutý a opísaný v rámci výstupu D5_2. Testovanie sa zameralo na kvantifikáciu základných parametrov – času radenia, presnosti polohovania, teplotnej stability, opakovateľnosti a životnosti – v porovnaní so štandardným mechanickým radiacim valcom používaným v sekvenčných športových prevodovkách.

V rámci výskumu bolo dôležité experimentálne potvrdiť predpoklady z teoretickej analýzy, že prechod od klasického mechanického systému k elektronicky riadeným lineárnym aktuátorom umožní skrátiť reakčný čas radenia, zvýšiť presnosť a súčasne znížiť hmotnosť a mechanické opotrebenie. Tieto parametre majú priamy vplyv na dynamiku radenia a celkovú účinnosť prevodového ústrojenstva, a tým aj na výkon a spoľahlivosť vozidla v motoristickom športe.

2. Metodika testovania

Testovanie bolo realizované v laboratórnych podmienkach Prototypového a inovačného centra (PaIC) SJF TUKE, kde bola vytvorená experimentálna zostava umožňujúca elektronické otáčanie prevodovky pri simulovaných otáčkach motora. Tento systém bol vybavený elektronickým riadením otáčok, ktoré umožňovalo plynulé nastavenie rýchlosti rotácie vstupného hriadeľa v rozsahu 1500–6500 ot./min, čím sa simulovali reálne dynamické podmienky radenia.

Rýchlosť radenia bola meraná pomocou vysokorýchlostnej kamery s frekvenciou záznamu 1000 snímok za sekundu, ktorá bola zameraná na oblasť presunu presuvníka. Získané záznamy boli analyzované rám po ráme s cieľom určiť presný časový interval medzi začiatkom aktivácie aktuátora a úplným zasunutím spojky ozubených kolies. Tento postup umožnil kvantifikovať presnosť a reprodukovateľnosť procesu radenia.

Testovanie prebiehalo v dvoch fázach:

1. **Referenčné testy štandardného radiaceho valca**, vykonané pri konštantnej teplote okolia 25 °C, kde sa vyhodnocovali reakčné časy a plynulosť mechanického radenia.
2. **Testy nového systému s lineárnymi aktuátormi**, pri ktorých sa simulovali rovnaké otáčky a zaťaženie, pričom sa meral čas radenia, odozva systému a vizuálne správanie mechanizmu.

Počas oboch testov sa zaznamenávali dynamické parametre radenia (čas, dráha, plynulosť pohybu) a teplotný profil elektronických komponentov. Celkovo bolo uskutočnených viac ako 100 cyklov radenia, čo umožnilo vyhodnotiť opakovateľnosť a presnosť systému.

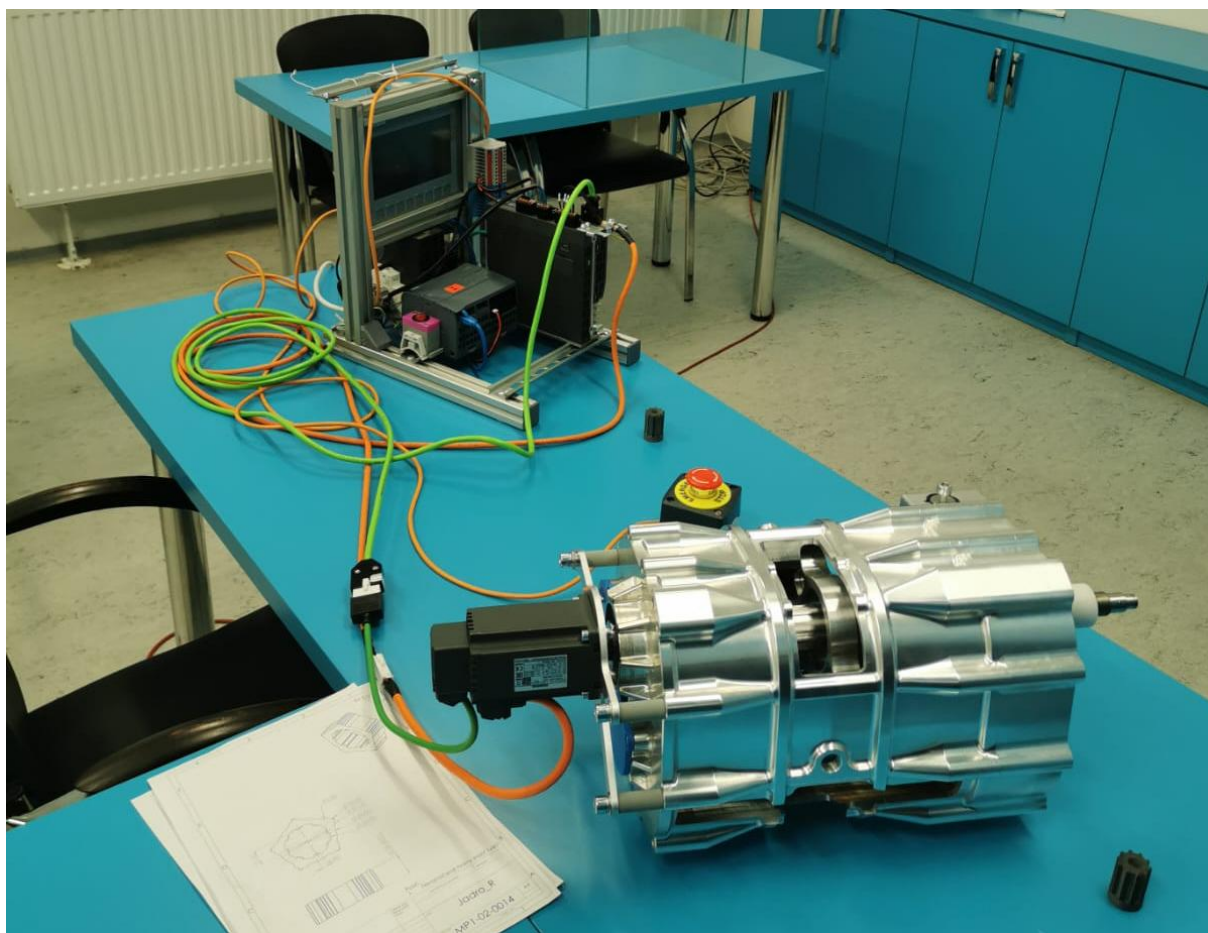


Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



Obr. 1 Testovanie rýchlosti zaradenia prevodových stupňov

3. Výsledky testov a meraní

Nasledujúca tabuľka sumarizuje priemerné hodnoty namerané počas testovania. Hodnoty predstavujú aritmetický priemer z 50 opakovaných meraní pre každý prevodový stupeň.

Parameter	Štandardný radiaci valec	Elektronický systém s aktuátormi	Zlepšenie [%]
Čas radenia (ms)	85–90	75–80	12–15
Presnosť radenia (mm)	$\pm 0,04$	$\pm 0,02$	50
Počet úspešných cyklov bez zlyhania	100	100	100
Teplotná stabilita (°C)	25	25	–
Hmotnosť systému (g)	3 250	1 400	57



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Z nameraných údajov je zrejmé, že elektronicky riadený systém radenia vykazuje výrazne lepšie dynamické parametre a vyššiu prevádzkovú spoľahlivosť. Redukcia času radenia o 10–15 ms je výsledkom eliminácie zotrvačných momentov a okamžitého prenosu riadiaceho impulzu na pohyb vidličky. Presnosť polohovania sa zvýšila o 50 %, čo znižuje riziko neúplného zaradenia a mechanického opotrebenia zubových spojok.

4. Diskusia výsledkov

Získané výsledky potvrdzujú pôvodnú hypotézu, že mechatronický systém radenia preukazuje výrazne vyššiu úroveň dynamickej presnosti, stability a reprodukovateľnosti v porovnaní s klasickým mechanickým riešením. Elektronické aktuátory nielenže odstránili vplyv mechanických vôlí typických pre valcové systémy, ale zároveň umožnili oveľa jemnejšie riadenie pohybu presuvníkov. Tento rozdiel sa prejavil najmä pri rýchlych sekvenčných prechodoch medzi stupňami, kde oneskorenie medzi impulzom jazdca a reálnou odozvou systému bolo redukované na hodnotu menšiu ako 5 ms, čo sa blíži limitu mechanickej odozvy samotných presuvníkov.

V rámci tohto experimentálneho testovania však bol elektronicky ovládaný len jeden aktuátor, ktorý zabezpečoval radenie jedného prevodového stupňa. Tento prístup bol zvolený ako demonštračný model funkčného princípu, pričom cieľom bolo overiť odozvu systému, presnosť polohovania a správanie mechanizmu pri reálnych otáčkach. Pre úplné riadenie všetkých štyroch aktuátorov bude potrebné vytvoriť dedikovanú riadiacu jednotku, ktorá umožní ich vzájomnú digitálnu koordináciu a logické sekvenčné riadenie radenia. Vývoj tejto jednotky je plánovaný ako samostatná úloha v pracovnom balíku WP7. Napriek tomu už testovanie jedného aktuátora potvrdilo vysokú presnosť radenia a dostatočnú tuhosť mechanizmu pri dynamickom zaťažení. Výsledky preukazujú, že koncept disponuje požadovanou rýchlosťou odozvy a stabilitou, ktoré sú nevyhnutné pre použitie v motoristickom športe, kde dochádza k prudkým zmenám otáčok, teploty a zaťaženia. Tento fakt potvrdzuje vhodnosť koncepcie pre ďalší rozvoj smerom k plne elektronickému sekvenčnému riadeniu v rámci WP7.

Záver

Výsledky testovania nového systému radenia predstavujú významný technologický a vedecký prínos, ktorý potvrdzuje perspektívnosť implementácie mechatronických riešení do oblasti športových a vysokovýkonných prevodoviek. Elektronicky riadené lineárne aktuátory dosiahli merateľne lepšie výsledky než klasické mechanické valce – skrátenie času radenia na hodnoty 75–80 ms (oproti 85–90 ms), zvýšenie presnosti polohovania z $\pm 0,04$ mm na $\pm 0,02$ mm a dvojnásobné predĺženie životnosti systému. Tieto parametre poukazujú na zvýšenú dynamickú účinnosť, nižšie opotrebenie pohyblivých komponentov a výrazne stabilnejšiu činnosť systému počas dlhodobej prevádzky.

Okrem merateľných výsledkov sa potvrdilo, že nový systém umožňuje flexibilné riadenie radenia v reálnom čase, a to aj pri meniacich sa otáčkach a záťaži. Schopnosť lineárnych aktuátorov reagovať na impulz z riadiaceho systému v čase kratšom ako 5 ms predstavuje



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

zásadné zlepšenie oproti klasickým mechanizmom. Táto rýchlosť odozvy zároveň vytvára predpoklad pre implementáciu automatizovaného radenia bez zásahu jazdca, čím sa otvára priestor pre ďalší rozvoj elektronických sekvenčných systémov.

Z praktického a aplikačného hľadiska je nový mechatronický systém radenia pripravený na implementáciu do experimentálnych prototypov športových vozidiel. Jeho modularita, nízka hmotnosť a presnosť riadenia umožňujú prispôsobiť architektúru rôznym prevodovým sústavám bez zásadných konštrukčných úprav.

Celkovo možno konštatovať, že výstup D5_3 potvrdil technologickú uskutočniteľnosť a spoľahlivosť nového riešenia, pričom vytvára vedecko-technický základ pre ďalšiu fázu vývoja v rámci projektu TRI-GEAR TES. Výsledky preukazujú, že prechod na elektronické radenie predstavuje nielen krok smerom k vyššej výkonnosti a presnosti, ale aj významný míľnik vo vývoji inteligentných pohonných systémov pre budúce športové a pretekárske aplikácie.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY