

Výsledky simulácii sériového hybridného pohonu automobilu

Matej Juraj · Elektrotechnika, MATLAB/Comsol

31.10.2012



Tento článok opisuje hnaciu sústavu sériového hybridného vozidla, pričom cieľom je navrhnúť výkonové parametre hlavných častí pohonu a vhodnú koncepciu vozidla. Jednou z najväčších výhod sériového pohonu je to, že spaľovací motor môže pracovať v predurčenom režime (napríklad režim najnižšej spotreby, alebo najnižších emisií). Umožňuje to nezávislosť otáčok spaľovacieho motora od otáčania kolies ako aj nezávislosť od zaťažovania od jazdných odporov.

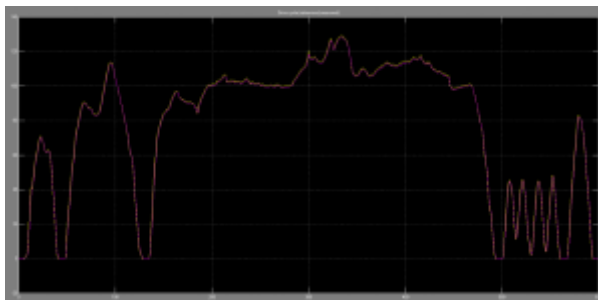
Preto je možné vhodným výberom jednotlivých častí dosiahnuť požadovanú koncepciu (podľa potreby). Pri výkonnejšom generátore môže byť vozidlo poháňané prevažne energiou z generátora a akumulátory môžu byť menšie. Pri koncepcii EREV sa vo vozidle nachádzajú výkonné akumulátory, vozidlo pracuje prevažne ako elektromobil a malý spaľovací motor spolu s malým generátorom slúžia len pre rozšírenie dojazdu v prípade vybitia akumulátorov.

Na začiatku sme stanovili parametre: Akumulátory - 7Ah, Generátor - 60kW, Spaľovací motor- 100kW, Elektromotor - 100kW. Prvým určujúcim parametrom sú akumulátory. Za predpokladu že vozidlo musí zvládnuť jazdu na čisto elektrický pohon sme volili rôzne typy akumulátorov s rôznymi kapacitami a výkonovým limitom. Pre určenie parametrov generátora stačilo z výsledných charakteristík odčítať maximálny použitý výkon. Spaľovací motor má zložitejšie charakteristiky a nemožno ho lineárne prirovnať ku generátoru, preto bolo treba vykonať niekoľko simulácií s rôznymi spaľovacími motormi, pričom sa vybral najvhodnejší. Výsledkom našich analýz sú parametre pohonu hybridného vozidla:

- Elektromotor - 80kW PMSM
- Batéria - Lithium-Ion 20Ah, 300V, výkonový limit 50kW
- Spaľovací motor - 75kW
- Generátor - 40kW PMSM

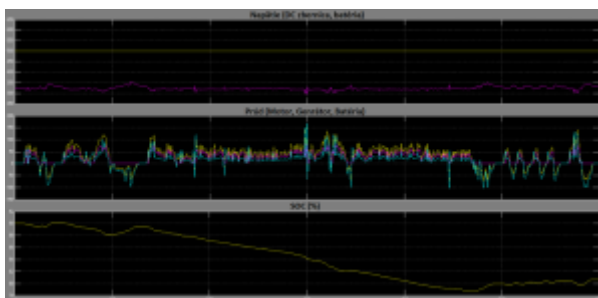
Simulácie boli aplikované na nasledujúcich štandardizovaných jazdných cykloch US06 a HWFET.

Jazdný cyklus US06



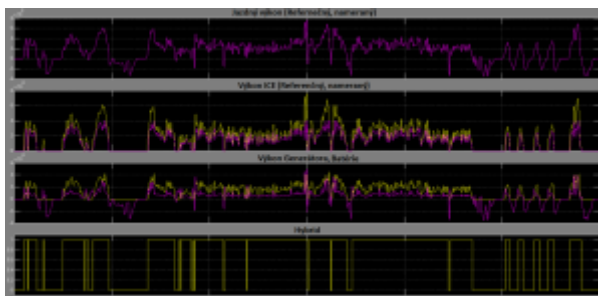
Obrázok 1: Jazdný cyklus, závislosť dráhy od času

Na obrázku 2 je možné vidieť priebehy napätia, prúdov a aktuálny stav kapacity akumulátorov (SOC) ak by vozidlo prekonávalo jazdné odpory zodpovedajúce zvolenému jazdnému cyklu podľa obrázka 1.



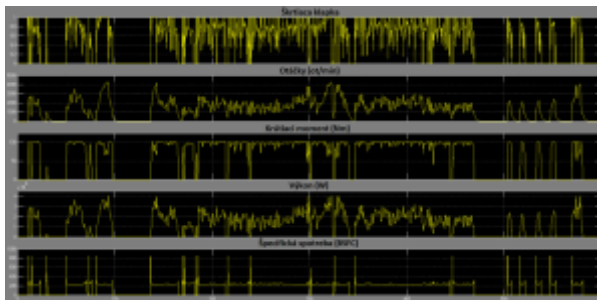
Obrázok 2: Napätia, prúdy a SOC v závislosti na jazdnom cykle

Obrázok 3 dokumentuje priebehy výkonov, ktoré sú potrebné na prekonanie jazdných odporov ako aj výkon spaľovacieho motora, generátora aj akumulátorov vozidla pohybujúceho sa po zvolenom jazdnom cykle. Z obrázka 3 je zrejmé aj v akých časových úsekoch pracoval hnací mechanizmus vozidla v elektrickom a hybridnom režime.



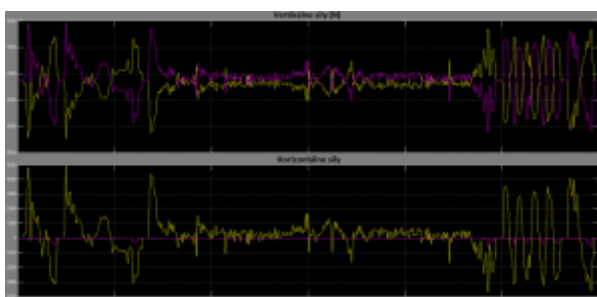
Obrázok 3: Výkony a spúšťanie hybridného režimu v závislosti na jazdnom cykle

Z obrázka 4 je zrejmé potrebné otvorenie škrtiacej klapky spaľovacieho motora, ktoré bolo potrebné na optimálny pohon generátora z ohľadom na spotrebu paliva spaľovacieho motora ako aj s ohľadom na dodržanie stanovených jazdných výkonov od jazdného cyklu. Ďalej obrázok demonštruje potrebné otáčky spaľovacieho motora, jeho aktuálny výkon, krútiaci moment ako aj špecifickú spotrebu, ktorú motor dosahoval počas pohybu po danom jazdnom cykle. Môžeme si všimnúť, že spaľovací motor pracoval takmer s konštantnou spotrebou paliva, napriek meniacim sa jazdným odporom. To vyplýva s optimálneho využívania úplnej charakteristiky spaľovacieho motora a vhodnej spolupráci medzi všetkými prvkami hybridnej hnacej sústavy.



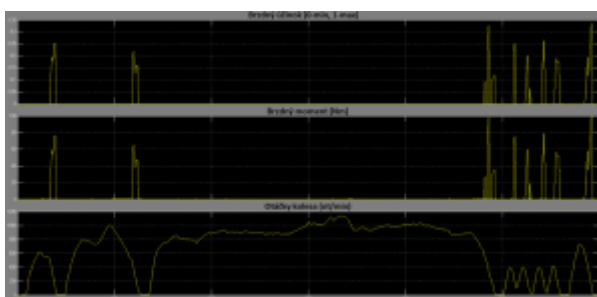
Obrázok 4: Spalovací motor - otvorenie škrtiacej klapky, otáčky ICE, krútiaci moment, výkon a merná špecifická spotreba v závislosti na jazdnom cykle

Všetky vertikálne a horizontálne sily, ktoré pôsobili na vozidlo počas prejazdu zvoleným jazdným cyklom sú zdokumentované na obrázku 5. Vozidlo pre dodržanie parametrov jazdného cyklu muselo cyklicky akcelerovať aj decelerovať, čo spôsobilo vznik zvislých reakcií na nápravách vozidla ako aj vznik pozdĺžnych hnacích a brzdných síl. Pričné sily boli na jazdnom cykle nulové, pretože vozidlo sa pohybovalo priamym smerom.



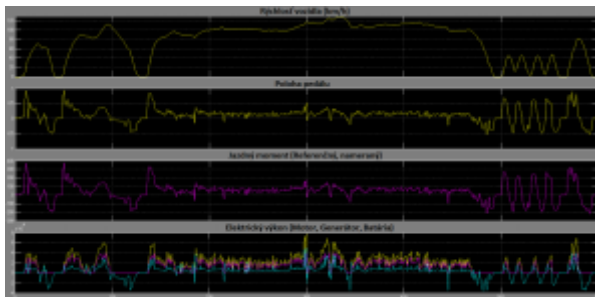
Obrázok 5: Sily pôsobiace na nápravy v závislosti na jazdnom cykle

Keďže vozidlo s hybridným pohonom je schopné kinetickú energiu premieňať na elektrickú a týmto spôsobom spomaľovať vozidlo, trecie brzdy nebolo potrebné využívať na každú potrebnú deceleráciu. Využívalo teda rekuperačné brzdenie a odľahčovalo trecie brzdy, pri ktorých by bola kinetická energia premenená na tepelnú a tým pádom už nevyužiteľná na pohon vozidla. Pôsobenie trecích brzd je zdokumentované na obrázku 6.



Obrázok 6 : Pôsobenie brzd v závislosti na jazdnom cykle

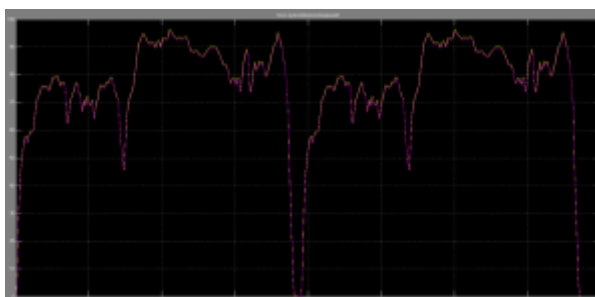
Výsledné charakteristiky sériového hybridného hnacieho pohonu vozidla dokumentuje obrázok 7. Z obrázka si môžeme všimnúť priebeh rýchlosti, ktorú dosahovalo na jazdnom cykle, ďalej polohu akceleračného pedálu, priebeh potrebného jazdného momentu, ktorý vozidlo muselo vynaložiť na prekonanie jazdných odporov ako aj výkony, elektromotora, generátora a akumulátoroch. Ktoré sa dosahovali na danom jazdnom cykle.



Obrázok 7: Výsledné charakteristiky v závislosti na jazdnom cykle

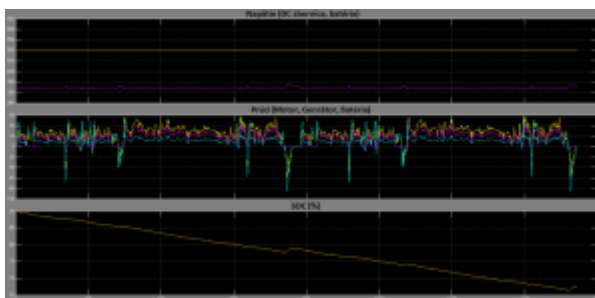
HWFET - diaľničný jazdný cyklus

Rovnaká simulácia bola prevedená aj na inom štandardizovanom jazdnom cykle, ktorého parametre sú uvedené na obrázku 8.



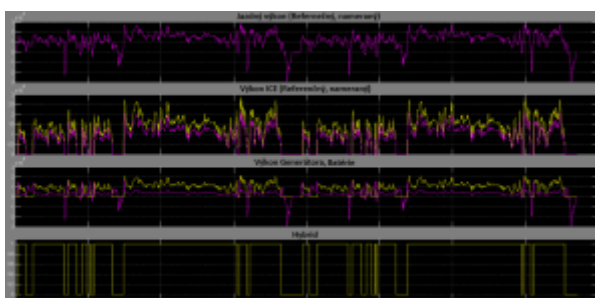
Obrázok 8: Jazdný cyklus, závislosť dráhy od času

Rozdiely v priebehoch napätia, prúdu a stavu aktuálnej kapacity akumulátorov si môžeme všimnúť porovnaním obrázkov 2 a 9. Jedná sa o porovnanie rovnakých parametrov rovnakých vozidiel, ale na rozdielnom jazdnom cykle.



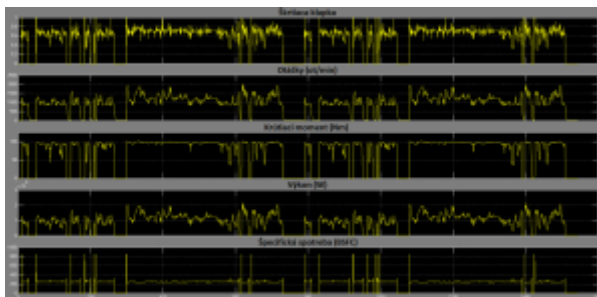
Obrázok 9: Napätia, prúdy a SOC v závislosti na jazdnom cykle

Porovnanie doby využívania hybridného režimu pohonu, teda čas kooperácie spaľovacieho motora, generátora, elektromotora a akumulátorov rovnakých vozidiel na rôznych jazdných cykloch ako aj porovnanie potrebného výkonu na prekonanie jazdných odporov a výkonov spaľovacieho motora, generátora a akumulátorov získame porovnaním priebehov na obrázkoch 3 a 10.



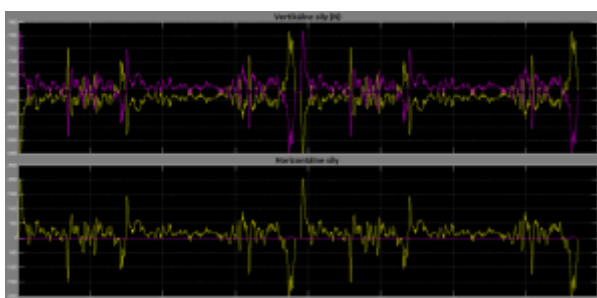
Obrázok 10: Výkony a spúšťanie hybridného režimu v závislosti na jazdnom cykle

Prevádzkové parametre spaľovacieho motora ako otvorenie škrtiacej klapky, otáčky, aktuálny krútiaci moment, výkon a dosahovanú spotrebu spaľovacieho motora ozrejmuje obrázok 11. Taktiež je možné priebehy porovnať s predošlým jazdným cyklom porovnaním obrázkov 4 a 11.



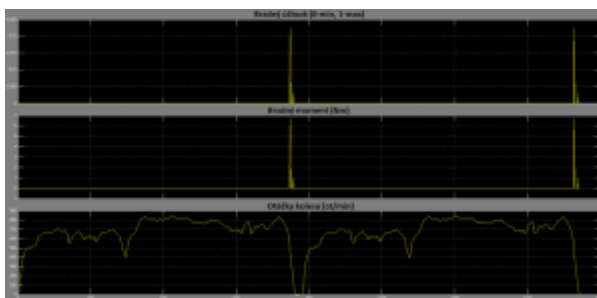
Obrázok 11: Spalovací motor - otvorenie škrtiacej klapky, otáčky ICE, krútiaci moment, výkon a merná špecifická spotreba v závislosti na jazdnom cykle

Keďže sa vozidlo pohybovalo po zmenenom jazdnom cykle ako v predošlom prípade, zmenili sa aj zvislé reakcie a pozdĺžne sily, ktoré na vozidlo pôsobili počas pohybu po jazdnom cykle. Priebeh a veľkosť zvislých a pozdĺžnych síl dokumentuje obrázok 12 a porovnanie s predošlým cyklom je si môžeme všimnúť porovnaním obrázkov 5 a 12.



Obrázok 12: Sily pôsobiace na nápravy v závislosti na jazdnom cykle

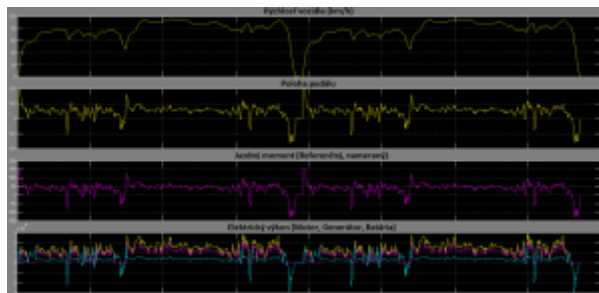
Pri jazdnom cykle HWFET sa taktiež využívalo rekuperačné brzdenie a ako je zrejmé z obrázka 13, trecie brzdy boli len veľmi málo využívané. Deceleráciu vozidla sa dokázalo zabezpečiť takmer v celom rozsahu rekuperovaním kinetickej energie na elektrickú, ktorú je vozidlo následne schopné využiť na akceleráciu. Pre porovnanie s predošlým jazdným cyklom je potrebné porovnať obrázky 6 a 13.



Obrázok 13: Pôsobenie brzd v závislosti na jazdnom cykle

Výsledné priebehy ako rýchlosť, poloha akceleračného pedála, potrebný moment na prekonanie jazdných odporov ako aj výkon elektromotora, generátora a akumulátorov sú znázornené na obrázku 14. Porovnanie výsledných priebehov sériového hybridného

pohonu vozidla na dvoch rôznych jazdných cykloch uskutočníme porovnaním obrázkov 7 a 14.



Obrázok 14: Výsledné charakteristiky v závislosti na jazdnom cykle

Pri diaľničnom cykle HWFET vozidlo simulovalo prejdenú dráhu 32,8km a vypočítaná spotreba bola 3,8 l/100km. Výsledná koncepcia bola odsimulovaná pre dva rôzne jazdné cykly - US06 a HWFET. Oba jazdné cykly boli splnené bez významných odchýlok a s uspokojivými výsledkami, čo znamená že daná koncepcia je vyhovujúca pre požadované vozidlo. Touto analýzou a modelom vytvoreným v programe Matlab Simulink je možné analyzovať rôzne koncepcie sériových hybridných vozidiel.

Spoluautorom článku je Miloš Pagáč.