

Simulácie a riadenie hybridného pohonu

Matej Juraj · Elektrotechnika

24.06.2013



Nasledujúci príspevok sa zaoberá návrhom riadiacej logiky hybridného pohonného ústrojenstva vozidla VW Touareg Hybrid. Príspevok sa zaoberá teoretickým rozborom rôznych stratégií spolupráce medzi spaľovacím motorom a elektromotorom v pohonnom ústrojenstve

hybridného vozidla s parametrami VW Touareg a zostavením jednotlivých jazdných režimov. Je vytvorený model vozidla s parametrami VW Touareg a sú porovnávané 2 druhy riadiacej logiky: Efficiency mode, Fuel – Use mode. Tieto logiky sú porovnávané z hľadiska spotreby paliva a jazdnej dynamiky. S teoreticky vypočítaných hodnôt a priebehov sme vytvorili model celého navrhnutého hnacieho mechanizmu vozidla s parametrami VW Touareg Hybrid.

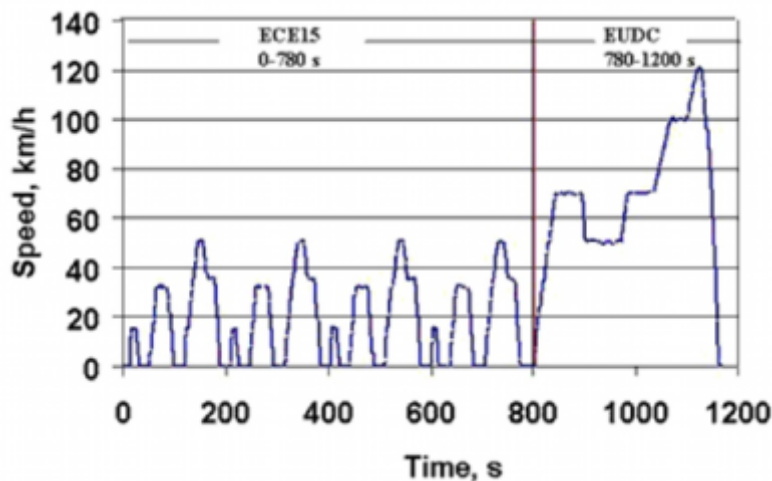
Úvod

Hybridná technológia, čiže spojenie 2 a viac rozdielnych druhov pohonov, nie je vo svete dopravy ničím novým. Spomeňme napríklad diesel-elektrické lokomotívy alebo ponorky druhej svetovej vojny. No najväčší rozmach zaznamenáva hybridná technológia v dnešnej dobe. Počiatočné problémy, ako regulácia spaľovacieho motora s prenosom hnacej sily na kolesá (spojka, prevodovka) s kombináciou s elektrickým pohonom v dnešnej dobe nahradil tlak na čoraz prísnejšie emisné normy, minimalizácia spotreby paliva a čo najväčšie zefektívnenie celého pohonného systému. Od stupňa „hybridizácie“ rozlišujeme niekoľko druhov hybridných pohonov. V dnešnej ekologickej dobe sa vo veľkej miere rozširuje oblasť použitia hybridov, ktorá siaha od hybridných motocyklov, cez celý automobilový priemysel až po nákladnú dopravu. Obzvlášť v mestskej doprave, kde je presne definovaný jazdný plán, môže nasadenie hybridnej technológie vhodne optimalizovať prevádzkovú stratégiu.

1. Model vozidla

Bloková schéma hybridného pohonu sa skladá z niekoľkých základných blokov. Musel byť vytvorený model jazdného cyklu. Použili sme štandardizovaný jazdný cyklus NEDC používaný na meranie emisií a spotreby paliva pre európske vozidlá.

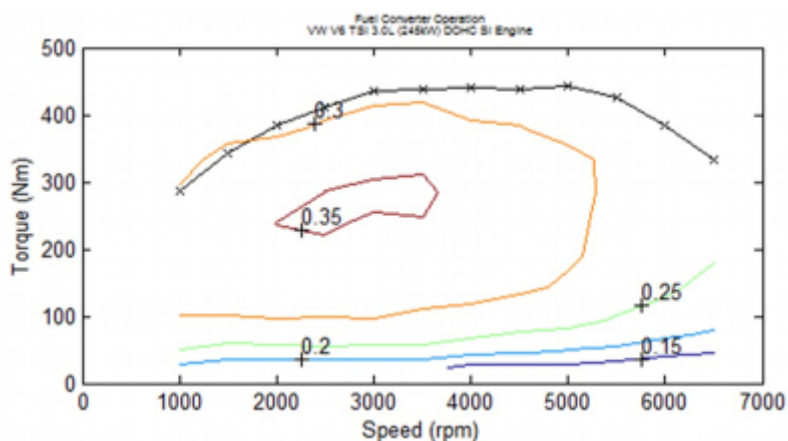
Driving cycle (jazdný cyklus) – v simulácií sme používali presne definovaný európsky jazdný cyklus NEDC. Jedná sa o kombinovaný jazdný cyklus, ktorý sa skladá zo štyroch jazdných mestských cyklov a jedného mimomestského jazdného cyklu. Na obr.1 je znázornený použitý jazdný cyklus NEDC (New European Driving Cycle).



Obr.1 Jazdný cyklus NEDC (New European Driving Cycle)

Vehicle (vozidlo) – tento blok zahŕňa iba vonkajšie rozmery karosérie, celkovú hmotnosť vozidla, veľkosť priemetu čelnej plochy a súčiniteľ odporu vzduchu.

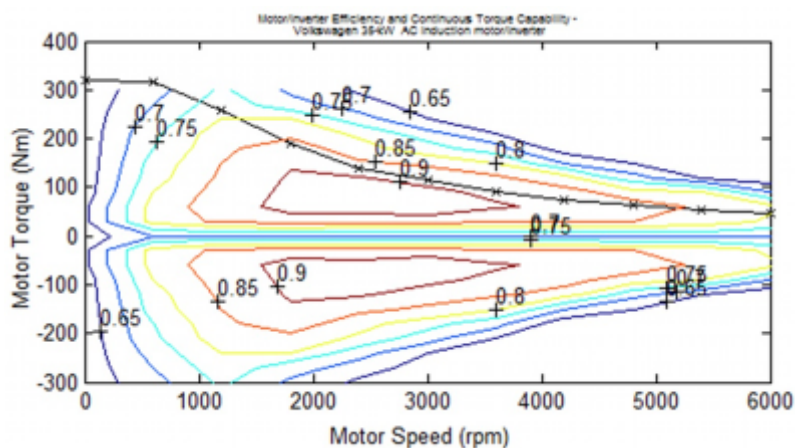
Fuel converter (spaľovací motor) – obsahuje mapu merných spotrieb, následne prepočítanú na celkovú účinnosť spaľovacieho motora. Maximálna účinnosť nami zvoleného spaľovacieho motora je 36 %. Mapa mernej spotreby je zároveň ohraničená krivkou točivého momentu pri maximálnom zaťažení.



Obr.2 Charakteristika použitého spaľovacieho motora

Gearbox (prevodovka) – zahŕňa prevodové pomery jednotlivých prevodových stupňov spolu s koncovým prevodovým pomerom v rozvodovke. Taktiež obsahuje údaje o hmotnosti prevodovky a jej celkovej mechanickej účinnosti.

Motor controller (elektromotor/generátor) – obsahuje model elektromotora spolu s mapou celkovej účinnosti elektromotora a generátora spolu s krivkou maximálneho točivého momentu.

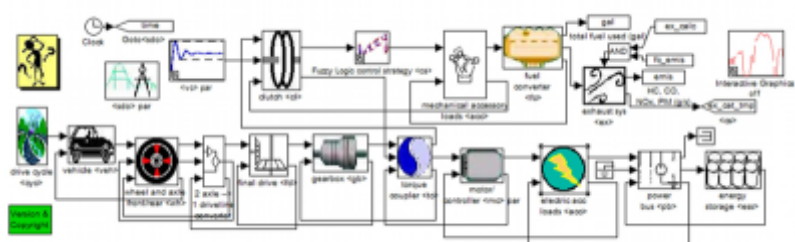


Obr.3 Charakteristika použitého elektromotora

Energy storage system (akumulátor) – jedná sa o model vysokonapäťovej 288V NIMH batérie. Ten obsahuje údaje o nominálnom napätí, vybíjacej charakteristike, počte článkov a celkovej hmotnosti celého systému.

Wheel/axle (nápravy/kolesá) – obsahuje informácie o dynamickom polomere kolies a o koeficiente priľnavosti pneumatík na zvolenom type povrchu cesty.

Accessory (príslušenstvo) – obsahuje dáta týkajúceho sa odoberaného výkonu z elektrickej siete vozidla všetkými elektrospotrebičmi (infotainment, klimatizácia...)



Obr.4 Bloková schéma simulačného modelu vozidla

2. Spolupráca spaľovacieho motora a elektromotora

Primárnym cieľom riadenia paralelného hybridného systému je udržiavať motor v takom zaťažení a otáčkach, aby pracoval v oblasti s najvyššou účinnosťou. Toto zvyšuje celkovú účinnosť celého hybridného pohonného ústrojenstva. Tento stav sa dosahuje najlepšie pri použití prevodovky s plynulou zmenou prevodového pomeru CVT. V našom prípade pri použití viacstupňovej prevodovky, pracovná oblasť spaľovacieho motora závisí od zaťaženia, výkonu elektromotora, zaradeného prevodového stupňa a stavu nabitia batérie. Pre porovnanie sme použili 2 riadiace logiky na báze FUZZY:

Fuel-use mode, ktorá obmedzuje okamžitú spotrebu paliva vypočítanú z mapy mernej spotreby.

Efficient mode, ktorá sa snaží aby spaľovací motor pracoval v oblasti s najvyššou efektívnosťou.

Fuzzy logic controller (FLC) sa používa hlavne kvôli veľkej nelinearite a vysokému počtu časových premenných od ktorých závisí celý riadený systém. FLC používa 2

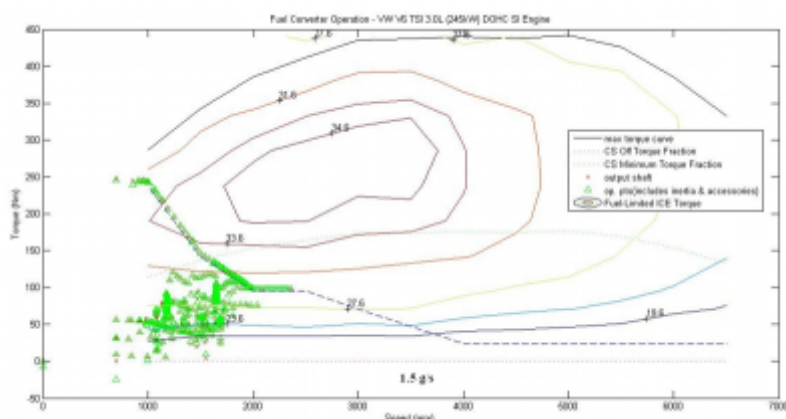
hlavné vstupy: SOC - stav nabitia akumulátora a požadovaný točivý moment spalovacieho motora. Na základe týchto vstupov a zvoleného módu riadenia, FLC nastavuje pracovný bod spalovacieho motora. Podľa rovnice (1) je následne vypočítaný točivý moment elektromotora.

$$M_{EM_požadovaný} = M_{zataz} - M_{IEC_set} \quad (1)$$

Kde M_{zataz} je potrebný točivý moment vychádzajúci z jazdného cyklu, potrebný na akceleráciu, stúpanie... a M_{IEC_set} je výstupný točivý moment spalovacieho motora.

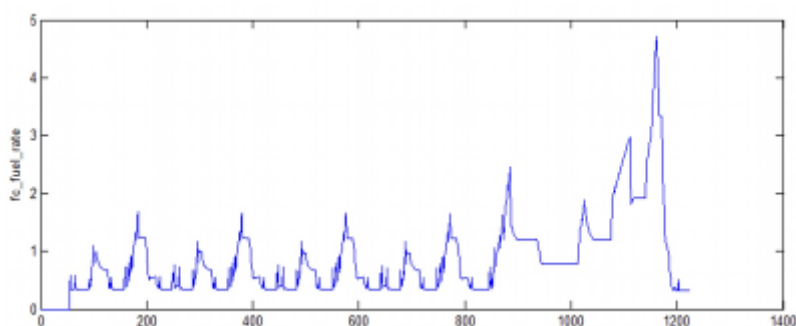
3. Stratégia Fuel Use Mode

Tento mód obmedzuje okamžitú spotrebu paliva spalovacieho motora. Tým zaistíme, že spotreba paliva (g/s) neprevýši určitú hodnotu. Tento mód nie je založený na dosiahnutí čo najvyššej účinnosti spalovacieho motora, ale jedná sa hlavne o obmedzenie spotreby na určitú hodnotu. Určenie hraničnej hodnoty spotreby paliva závisí od požiadaviek jazdnej dynamiky vozidla, maximálnej spotreby paliva a stavu nabitia akumulátora. Pri zadaní požadovanej hodnoty hraničnej spotreby paliva, FLC preloží krivku tejto spotreby do úplnej charakteristiky spalovacieho motora a zabezpečí, aby operačné body v ktorých pracuje spaľovací motor sa nachádzali na jej hranici alebo pod ňou, vid' obr. 5.



Obr.5 Princíp stratégie Fuel Use Mode v charakteristike spalovacieho motora

Na obr.6 môžeme vidieť výsledný priebeh spotreby paliva v g/s počas zvoleného jazdného cyklu NEDC namodelovaného vozidla pri použití stratégie riadenia Fuel Mode. Najvyššia spotreba je v mimomestskej časti jazdného cyklu na hodnote 4,7 g/s.

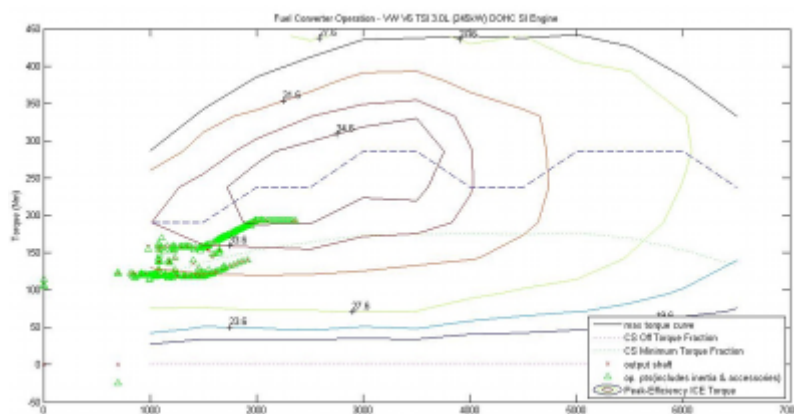


Obr.6 Spotreba paliva v g/s počas jazdného cyklu

4. Stratégia Efficiency Mode

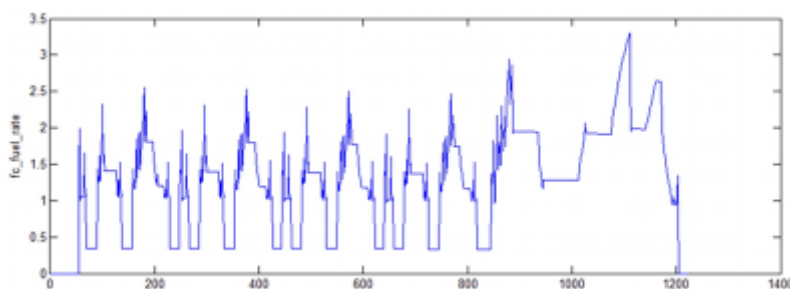
Hlavným zámerom Efficiency módu je, aby spaľovací motor pracoval v oblasti s čo najvyššou účinnosťou. V tomto móde sú operačné body v ktorých pracuje spaľovací motor nastavené tak, aby účinnosť motora bola čo najvyššia pri zodpovedajúcich otáčkach. Aby mohol spaľovací motor pracovať s vyšším zaťažením (a tým pracovať v oblasti s vyššou účinnosťou) ako si vyžaduje jazdný cyklus, je dodatočne zaťažovaný elektromotorom, pracujúcim v generátorickom režime.

Výhodou efficiency módu je, že spaľovací motor pracuje s vysokou účinnosťou. Nevýhodou je že oblasť s najvyššou účinnosťou spaľovacieho motora sa nachádza pod oblasťou s maximálnym točivým momentom, ktorý v mnohých prípadoch prevyšuje potreby k prekonaniu jazdných odporov na jazdnom cykle. To znamená, že elektromotor musí výrazne zaťažovať spaľovací motor z čoho vyplýva vysoké SOC. Preto je tento mód vhodný hlavne pre malé spaľovacie motory, kde točivý moment dosahovaný v oblasti maximálnej účinnosti, zodpovedá priemernej hodnote točivého momentu vyžadovaného jazdným cyklom.



Obr.7 Princíp stratégie Efficiency Mode v charakteristike spaľovacieho motora

Na grafe 7 vidíme v akej oblasti pracuje spaľovací motor. Riadiaca jednotka preloží mapou účinnosti spaľovacieho motora krivku, ktorá predstavuje maximálnu účinnosť pri daných otáčkach. Vidíme, že pracovné body v ktorých pracuje spaľovací motor, kopírujú túto krivku maximálnej účinnosti. Keďže priebeh momentu spaľovacieho motora má rozdielny priebeh ako krivka maximálnej účinnosti, elektromotor zaťažuje spaľovací motor tak, aby priebeh momentu na výstupe spaľovacieho motora túto krivku maximálnej účinnosti čo najviac kopíroval. V tomto prípade sa priebeh operačných bodov v ktorých pracuje spaľovací motor, nachádza pod krivkou maximálnej účinnosti, pretože v simulovanom jazdnom cykle nie je potrebný vyšší točivý moment spaľovacieho motora. Na obr.8 je znázornený priebeh spotreby paliva v g/s počas jazdného cyklu s namodelovaným vozidlom pri použití stratégie Efficiency mode.

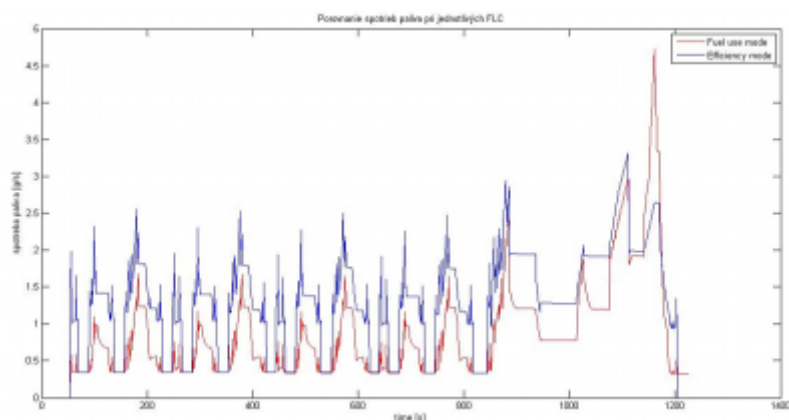


Obr.8 Spotreba paliva v g/s počas jazdného cyklu

Záver

V príspevku sú znázornené výsledky namodelovaného vozidla počas jazdného cyklu NEDC. Zobrazené priebehy spotreby paliva reprezentujú priebehy spotreby paliva pre dva rôzne typy stratégie riadenia spolupráce spaľovacieho motora a elektromotora. Priebeh spotreby paliva pri použití Fuel Mode dosahuje nižšie hodnoty ako Efficiency Mode z toho dôvodu, že pri tejto stratégii je vstrekané palivo do spaľovacieho motora obmedzované na určitú hodnotu (g/s) a ak je potrebný vyšší výkon vozidla, pri ktorom by bolo potrebné vstreknúť väčšie množstvo paliva, ten musí byť zabezpečovaný asistenciou elektromotora.

Pri použití Efficiency Mode sa dosiahla vyššia spotreba paliva, napriek tomu, že táto stratégia udržiava spaľovací motor vo vyšších oblastiach účinnosti. Je to spôsobené tým, že najvyššia celková účinnosť spaľovacieho motora sa nachádza v pomerne vysokých zaťaženiach a spaľovací motor musel byť umelo zaťažovaný generátorom. Pracoval teda na vyšší výkon ako by bolo potrebné, pri vyššej spotrebe paliva (g/s), ale pri efektívnej premene chemickej energie na mechanickú prácu. Prebytočným výkonom spaľovacieho motora sa však dobíjali akumulátory a táto energia získaná pri vysokej účinnosti sa môže neskôr využiť pri asistencii elektromotora spaľovaciemu motoru počas rozbehov vozidla alebo počas akcelerácie.



Obr.9 Porovnanie spotrieb paliva pri rôznych stratégiách riadenia pohonných jednotiek

Podakovanie

Príspevok bol spracovaný s podporou grantu z Nadácie Tatra banky v rámci grantového programu E-Talent pod číslom 2012et002, názov projektu "Elektronický systém riadenia hybridnej zdrojovej sústavy".

Literatúra

1. Vnútropodnikové informácie Volkswagen Slovakia a.s.
2. ADVISOR Documentation, ADVANCED VEHICLE SIMULATOR, National Renewable Energy Laboratory, October 10, 2003

Spoluautorom článku je Juraj Harmata

