

KERS- PREDNOSTI I NEDOSTACI UPOTREBE

KERS- ADVANTAGES AND DEFICIENCY OF USE *

Milan Stevanović¹⁾, Vladan Joksimović²⁾

Rezime: Sistem za iskorišćenje kinetičke energije (KERS) je jedan od metoda za nadoknadu energije kočenja. Energija koja se oslobađa u vidu toplote kod konvencionalnih frikcionih kočnica kada se vrši usporavanje vozila može biti sačuvana- kao mehanička energija kod zamajca ili kao električna ili hemijska energija u baterijama i može se koristiti kasnije za ubrzavanje vozila. Taj proces se zove regenerativno kočenje i predstavlja sistem za skladištenje energije. Na nižim brzinama regenerativni kočioni efekat je ograničen, a time i efekat trenja kočnica još uvek je neophodan da bi se vozilo zaustavilo. Danas većina pogonskih jedinica u hibridnim vozilima dobijaju energiju preko regenerativnog kočenja iako sistem zasnovan na baterijama u tim hibridnim sistemima ima veoma nisku izlaznu efikasnost.

Gljučne reči: sistem za iskorišćenje kinetičke energije- KERS, regenerativno kočenje

Abstract: The kinetic energy recovery system (KERS) is one method to recover braking energy. The energy released as heat by conventional friction brakes when decelerating a vehicle can be stored - as mechanical energy in a flywheel or as electrical / chemical energy in a battery - and re-used later to accelerate the vehicle. This process, called regenerative braking, is an onboard power storage system. At lower speeds, the regenerative braking effect is limited, and hence friction brakes are still needed to bring the vehicle to a stop. Though today's surge power units in hybrid vehicles store energy from regenerative braking, a battery-based hybrid system has very low output efficiency.

Key words: kinetic energy recovery system-KERS, regenerative braking

1. UVOD

Jedan od glavnih zahteva sa kojim se današnja auto industrija susreće je očuvanje životne sredine, što je jedan od glavnih ciljeva skoro svih vodećih proizvođača. Zaštita životne sredine je ključni faktor istraživačke politike budućih modela. Svi svetski proizvođači automobila redovno prikazuju svoja najnovija dostignuća koja planiraju da primene u svom proizvodnom programu. Na tim revolucionarnim modelima se vrši istraživanje novih tehnologija i procenjuje kako će se auto ponašati u realnim uslovima eksploatacije i ispituju njegove prednosti u očuvanju životne sredine.

Budući automobili moraće da zadovolje često suprotne zahteve: mala potrošnja energije, mala emisija štetnih gasova, visok nivo sigurnosti, praktičnost i multifunkcionalnost uz nisku cenu i jeftino održavanje. Nove tehnologije moraju da daju odgovor na potrebu za dodatnom energijom, većom snagom i relativno jednostavnom konstrukcijom. Ovo omogućava proizvodnja lakih, jakih i pouzdanih generatora za proizvodnju energije neophodne za dodatno korišćenje u

vozilima. Jedan od primera za takvo vozilo je Fiat Panda Hydrogen koje sa svojim performansama i upotrebljivošću može da parira komercijalnim automobilima. Ona je zasnovana na potpuno hibridnoj arhitekturi. Generator energije iz gorivih ćelija je direktno povezan sa pogonskim motorom i obezbeđuje svu energiju neophodnu za vozilo. Dodatne baterije se koriste samo pri ubrzavanju radi poboljšanja performansi vozila i one omogućavaju da se deo kinetičke energije oslobođen pri kočenju sačuva u njima. Ova vrsta tehnologije je poznata pod imenom KERS (Kinetic Energy Recovery System) i omogućava da se sačuvana energija naknadno koristi u hibridnom vozilu.

Postoje tri glavne vrste KERS jedinica- električna, mehanička i hidraulična. Sve su dizajnirane tako da poboljšaju ubrzanje vozila uz smanjenu potrošnju goriva kao i nižu emisiju CO₂.

Primena ovih sistema je trenutno znatno veća u auto sportu nego u običnom saobraćaju. U skladu sa tim i rezultati dobijeni na trkačkim stazama ne odgovaraju u potpunosti efektima koji se žele dobiti u smislu zaštite životne sredine. Dalja primena KERS tehnologije je moguća samo pri

1) Milan Stevanović, dipl.maš.ing., Zastava automobili-Fabrika Mehanička obrada, Trg Topolivaca 4, Kragujevac, email: mstevanovic6@sbb.rs

2) Vladan Joksimović, dipl. maš. ing., Zastava automobili-Fabrika Mehanička obrada, Trg Topolivaca 4, Kragujevac, e-mail: vladanj@verat.net

stalnom usavršavanju i prilagođavanju uslovima eksploatacije komercijalnih vozila.

2. REGENERATIVNO KOČENJE

Regenerativno kočenje je mehanizam koji redukuje brzinu vozila pretvaranjem kinetičke energije u neki drugi koristan oblik energije. Ta energija ostaje za neku buduću upotrebu na vozilu ili je sačuvana u elektroenergetskom sistemu za korišćenje od strane drugih vozila.

Primer za ovaj sistem je regenerativna kočnica u električnim železničkim vozilima, koja omogućava vraćanje generisane električne energije u sistem za napajanje. Kod električnih i hibridnih vozila energija sačuvana u baterijama ili u kondenzatoru može da se koristi za kasniju upotrebu. Drugi oblik sistema za skladištenje energije uključuje korišćenje komprimovanog vazduha i zamajca.

Ograničenja

Uz električno regenerativno kočenje još uvek se koristi frikcionni sistem kočenja i to iz sledećih razloga:

Efekat regenerativnog kočenja naglo smanjuje pri nižim brzinama, pa je zbog toga trenje pri kočenju još uvek potrebno da bi se vozilo potpuno zaustavilo.

Trenje pri kočenju je neophodno kao alternativa u slučaju kvara na regenerativnom kočenju.

Većina vozila sa regenerativnim kočenjem ima pogon samo na nekim točkovima (npr. 2WD vozila) i regenerativno kočenje se odnosi samo na te točkove, tako da u cilju bezbednog kočenja pri teškim uslovima (kao što su mokri i klizavi putevi) trenje je neophodno na drugim točkovima.

Količina električne energije koja se potroši je limitirana kapacitetom sistema koji treba da absorbuje ovu energiju ili stanjem napunjenosti baterije ili kondenzatora. Neregenerativni kočioni efekat se može pojaviti ako neka druga električna komponenta na istom sistemu napajanja trenutno izvlači snagu i ako su baterija ili kondenzator već puni. Iz tog razloga, normalno je da se inkorporira dinamičko kočenje koje će apsorbovati višak energije.

U slučajevima jakog kočenja poželjno je da su sile kočenja takve da se ostvari maksimalno dozvoljeno trenje između točkova i podloge bez klizanja i to u opsegu od maksimalne brzine do nule. Maksimalna snaga koja je na raspolaganju za ubrzanja je obično manja od očekivane, osim u slučaju ekstremno visokih performansi vozila. Zato snaga treba da bude raspoređena kočionom

sistemu u vanrednim situacijama tako da ona bude višestruko veća od one koja se koristi za ubrzanje.

Zbog ovih razloga neophodno je da se uz regenerativno koristi i frikcionno kočenje da bi se proizveo željeni krajnji efekat kočenja.

3. ISKORIŠĆENJE ENERGIJE ZAMAJCA

Iskorišćenje energije zamajca se zasniva na ubrzavanju zamajca do vrlo velikih brzina i održavanju energije u sistemu kao energije rotacije. Ta energija se konvertuje usporavanjem zamajca.

Većina ovakvih sistema koristi električnu energiju za usporavanje ili ubrzanje zamajca, ali su sve više u primeni i uređaji koji direktno koriste mehaničku energiju.

Prve generacije sistema za iskorišćenje energije zamajca su imale velike čelične rotore i mehaničke ležajeve. Kod naprednijih sistema rotori su izrađeni od kompozita karbon-fibera. Oni mogu rotirati i brzinama od 20 000 do preko 50 000 obrtaja u minuti, u vakuumskom okruženju i uz primenu magnetnih ležajeva.

Primena magnetnih ležajeva je neophodna jer je kod konvencionalnih mehaničkih ležajeva trenje direktno proporcionalno brzini, a pri takvim brzinama rotacije previše energije bi bilo potrošeno zbog trenja.

Pojavom visokotemperaturnih superkondenzatora ovi ležajevi su postali ekonomični jer omogućuju dugotrajnije čuvanje energije. Njihova funkcija kod hibridnih ležajeva je stabilizovanje opterećenja stalnih magneta.

Prednosti i nedostaci

Sistemi iskorišćenja energije zamajca nisu podložni efektima temperaturnih promena kao što su hemijski punjive baterije i ne postoji takozvani "memorijski efekat". Oni su takođe potencijalno manje štetni za životnu sredinu jer su uglavnom izrađeni od bezbednih materijala. Druga prednost je u tome što se kod zamajca jednostavno sprovodi merenje brzine rotacije što omogućava tačnu informaciju o količini iskorišćene energije. Korišćenje akumulatora kod ovakvih sistema predstavlja opasnost od eksplozije u slučaju preopterećenja.

Jedna od osnovnih ograničenja ovih sistema je čvrstoća materijala koji se koriste za izradu rotora. Generalno gledano, sa jačim materijalom sistem može da iskoristi više energije, ali kada se dostigne preopterećenje sva akumulirana energija se oslobađa odjednom, što dovodi do eksplozije čija se kinetička energija može uporediti sa energijom ispaljenog metka. Zbog toga, sistemi za

iskorišćenje energije zamajca zahtevaju primenu dodatnih uređaja kao stroge bezbedonosne mere opreza, što dovodi do povećanja ukupne mase. Prednost je da kompozitni materijali imaju tendenciju da se brzo raspadaju na veće delove umesto na šrapnele pri velikim brzinama.

Kada se koristi u vozilima, zamajac se ponaša kao žiroskop, budući da je moment impulsa obično sličnog reda veličine kao snaga koja dovodi do kretanja vozila. Ovo može negativno da se odrazi na karakteristike upravljanja vozilom pri njegovom skretanju. Sa druge strane, to može da se iskoristi u smislu balansa vozila pri oštrom skretanju. Ovaj efekat može u potpunosti biti uklonjen montažom zamajca uz primenu seta kardanskih krugova, usled čega moment impulsa neće imati uticaj na vozilo. Ovo ne rešava mogućnost pojave "zaključavanja" kardanskih krugova usled čega mora postojati kompromis između broja kardanskih krugova i odgovarajućeg broja stepeni slobode. Jedan takav krug bi rešio npr. okretanje vozila za 360°, ali za vožnju uzbrdo bio bi potreban novi mehanizam sa novim stepenom slobode.

Alternativno rešenje bi bio sistem sa dva zamajca koji bi se okretali sinhronizovano u suprotnim smerovima. Kod takvog sistema moment impulsa je jednak nuli i nema žiroskopskog efekta. Problem kod ovakvog sistema je održavanje brzine okretanja oba točka tako da ostanu iste, kako bi ugaona brzina ostala jednaka nuli.

Jedna od ideja koje su danas našle širu primenu je i CVT (Continuously Variable Transmission) KERS tehnologija koja kombinuje prednosti kontinualno varijabilnih menjača i sistema za iskorišćenja energije zamajca. Sistem se zasniva na tome da se kinetička energija rotacije točkova pretvori u kinetičku energiju rotacije zamajca koja se potom može iskoristiti za pogon vozila. Osnovna prednost korišćenja ovog sistema je da su gubici mnogo manji nego što je slučaj kod električnih sistema tj. veći deo kinetičke energije se reciklira za pogon vozila. Kod električnog sistema prvo se mora vršiti konverzija mehaničke u električnu energiju u generatoru, pa potom i električne u hemijsku kako bi se ista mogla skladištiti u baterijama. Prilikom korišćenja energije iz takvog sistema mora se ponovo izvršiti konverzija energije u obrnutom pravcu čime se dodatno povećavaju gubici.

Rezultat je da je KERS sistem zasnovan na principu zamajca u stanju da reciklira 65% energije prilikom kočenja, naspram maksimalno 45% koliko je do sada bilo moguće sakupiti električnim sistemima. Dimenzije sistema zasnovanih na zamajcu su skoro dvostruko manje od ekvivalentnih električnih sistema.

Ovaj KERS sistem je ukomponovan u već postojeću transmisiju vozila, i preko para zupčanika povezan je sa izlaznim vratilom menjača. U sklopu ovog sistema nalazi se i kontinualno varijabilni menjač čiji je zadatak da reguliše koliki će moment biti iskorišćen za ubrzanje vozila prilikom korišćenja energije uskladištene kočenjem, odnosno broja obrtaja zamajca prilikom skladištenja kinetičke energije. Komponente unutar svakog varijatora uključuju ulazni i izlazni disk. Svaki disk je napravljen od prstenastih površina između kojih se nalaze praznine. Dva ili tri valjka se nalaze unutar svake prstenaste praznine te su pozicionirani tako da je spoljna ivica svakog valjka u kontaktu sa prstenastom površinom ulaznog i izlaznog diska.

Kad ulazni disk rotira, snaga se prenosi preko valjka na izlazni disk, koji rotira u suprotnom smeru. Ugao valjka određuje prenosni odnos varijatora i proporcionalno promeni tog ugla menja se i prenosni odnos. Kada je valjak na malom radijusu (blizu centra) na ulaznom disku i na velikom radijusu (blizu ivice) na izlaznom disku, varijator proizvodi "niski" prenosni odnos. Pomeranjem valjka preko diskova na veći radijus na ulaznom disku i na manji radijus na izlaznom disku dobija se "viši" prenosni odnos. Prenos snage preko kontaktnih površina diskova i valjaka odvija se preko mikroskopskih filmova specijalno razvijenih fluida. Taj fluid razdvaja površine diskova i valjaka u njihovim kontaktnim tačkama.

Ulazni i izlazni diskovi su postavljeni veoma blizu u svakoj varijatorskoj jedinici. Fluid koji se nalazi između diskova i valjka postaje visoko viskoznan u uslovima povećanog pritiska, povećava se njegova "lepljivost" i stvara se efikasan mehanizam za prenos snage između rotacije diskova i valjka.

4. PRIMENA I REZULTATI

KERS tehnologija je od 2009. godine našla svoju najveću primenu u auto-moto sportu. Primenuje se i na hibridnim super-automobilima koji učestvuju u trkama izdržljivosti. U ovim i sličnim vrstama ispitivanja ipak postoje određena ograničenja koja se uvode kao obavezna i time dodatno limitiraju sve mogućnosti pronalazjenja novih rešenja KERS tehnologije.

Jedina prednost ove vrste upotrebe KERS-a je u dodatnom ubrzanju kako bi se ostvarile optimalne performanse vozila. Teško je očekivati da će KERS tehnologija u auto-moto sportu dovesti do značajnijeg smanjenja potrošnje goriva ili smanjenja ukupne težine vozila. Ispitivanja koja su sprovedene pre početka upotrebe ovih sistema u auto sportu krenula su od pretpostavki da neće biti

uticaja na težinu kao i na dinamičko ponašanje vozila.

Iskustva sa ovih takmičenja govore da vozači najveću korist mogu imati kada slede sporiji automobil, a vozilo sa ovim sistemom im može omogućiti znatno jednostavnije obilaženje. Pritiskom na dugme kada je sistem potpuno napunjen može im doneti dodatnu snagu u jednom kratkom intervalu vremena. Sa aspekta primene u komercijalnim vozilima ovo bi moglo da ima značajnog efekta u nekim kritičnim situacijama čime bi se mogli izbeći saobraćajni sudari. Višestruko pritiskanje dugmeta sa smanjenom snagom može im obezbediti jednu kontinuiranu vožnju. Mogućnost izbora odgovarajućeg načina korišćenja ovog sistema obezbeđuje postavljanje raznih strategija tokom vožnje.

Najvažniji načini uskladištenja energije koji se koriste su isti kao i u automobilske industriji- napredne baterije, superkondenzatori i zamajci. Primena superkondenzatora je pokazala prednosti zbog brzog punjenja i pražnjenja, dugotrajnosti (izdržavaju čak i nekoliko stotina hiljada punjenja i pražnjenja), niske toksičnosti materijala i visoke efikasnosti, ali poseduju i mogućnost skladištenja male količine energije i mogućnosti paljenja usled kratkog spoja pa su u praksi najčešće primenjuju litijum-jonske baterije. Primer za jedan takav sistem je hibridni super-automobil kod koga je 600 litijum- jonskih ćelija podeljeno u deset paketa baterija i pritom poseduje elektronski pretvarač snage koji kontroliše protok energije između baterija i motora-generatora. Električni motor-generator snage postavljen je na konvencionalni starter motora. Primena ovog sistema je pokazala da samo u posebnim okolnostima smanjenje potrošnje goriva može se kretati od 3 do 5%.

Rezultati su pokazali da KERS može poboljšati prolazna vremena po krugovima, značajno olakšati obilaženje, u zavisnosti od staze i uslova na njoj moguće je napraviti optimalnu strategiju korišćenja ovog sistema. Ovaj sistem ne može bitnije da utiče na potrošnju goriva i ne utiče na povećanje opterećenja vozača.

Dalja istraživanja je moguće usmeriti na raspodelu sile kočenja, ukupnu snagu sa i bez KERS-a i strategiju kontinuiranog ponašanja prilikom kočenja.

5. ZAKLJUČAK

KERS tehnologija je iz godine u godinu sve zastupljenija kod većine svetskih proizvođača automobila. Mnogi hibridni automobili poseduju neki vid ove tehnologije.

Najveću primenu KERS je doživeo u automoto sportu gde se u najvećoj meri i vrši ispitivanje novih tehnologija koje bi uskoro mogle da postanu deo komercijalne autoindustrije. Iskustva i ispitivanja u uslovima izlaganja vozila ekstremnim naprezanjima koja su zastupljena na auto trkama omogućiće brz razvoj ovih sistema.

Već sada mogu da se primete određene prednosti ali i brojni nedostaci. Prednosti koji oni donose u pogledu zaštite životne sredine usled smanjenja potrošnje goriva i smanjene emisije CO₂ u velikoj meri mogu biti narušene zbog primene teško reciklirajućih materijala na pojedinim komponentama KERS sistema.

Iskustva u primeni KERS sistema govore da oni u kombinaciji sa drugim naprednim tehnologijama mogu postati nezaobilazani deo budućih modela većine svetskih proizvođača motornih vozila.

LITERATURA

- [1] Frank E. Lowther: Vehicle braking and kinetic energy recovery system, Unated States Patent, 1981
- [2] Gabor Kovacs: Potential Strategies and Technologies of a Kinetic Energy Recovery System for Formula One, AVL Powertrain UK Ltd. – ICAT Istanbul, 2008
- [3] Roger Ford: Regenerative braking boosts green credentials, Railway Gazette International, 2007
- [4] Sheahen T. P.: Introduction to High-Temperature Superconductivity, Plenum Press, 1994
- [5] Wolsky A. M.: The status and prospects for flywheels and SMES that incorporate, Physica, 2002
- [6] Poulton, M.L.: Fuel Efficient Car Technology, Computational Mechanics Publications, 1997