

MEHATRONIČKI SISTEMI KOD MOTORA I VOZILA

TCS SISTEM U VOZILIMA

**Spring 2020
by
Slobodan Lubura**

TCS - UVODNE NAPOMENE

- Kritične situacije u vožnji mogu se javiti ne samo tokom kočenja vozila, već i kod startovanja i ubrzavanja vozila, posebno na klizavom kolovozu, uzbrdici i u krivinama.
- Ovakve situacije mogu preopteretiti vozača tako da će ga navesti da pogrešno reaguje i prouzrokovati da vozilo postane nestabilno.
- Elektronski system za spriječavanje proklizavanja pogonskih točkova (TCS) treba da riješi kritične situacije vožnji i obezbijedi stabilnost vozila.

TCS SISTEM - ZADATAK

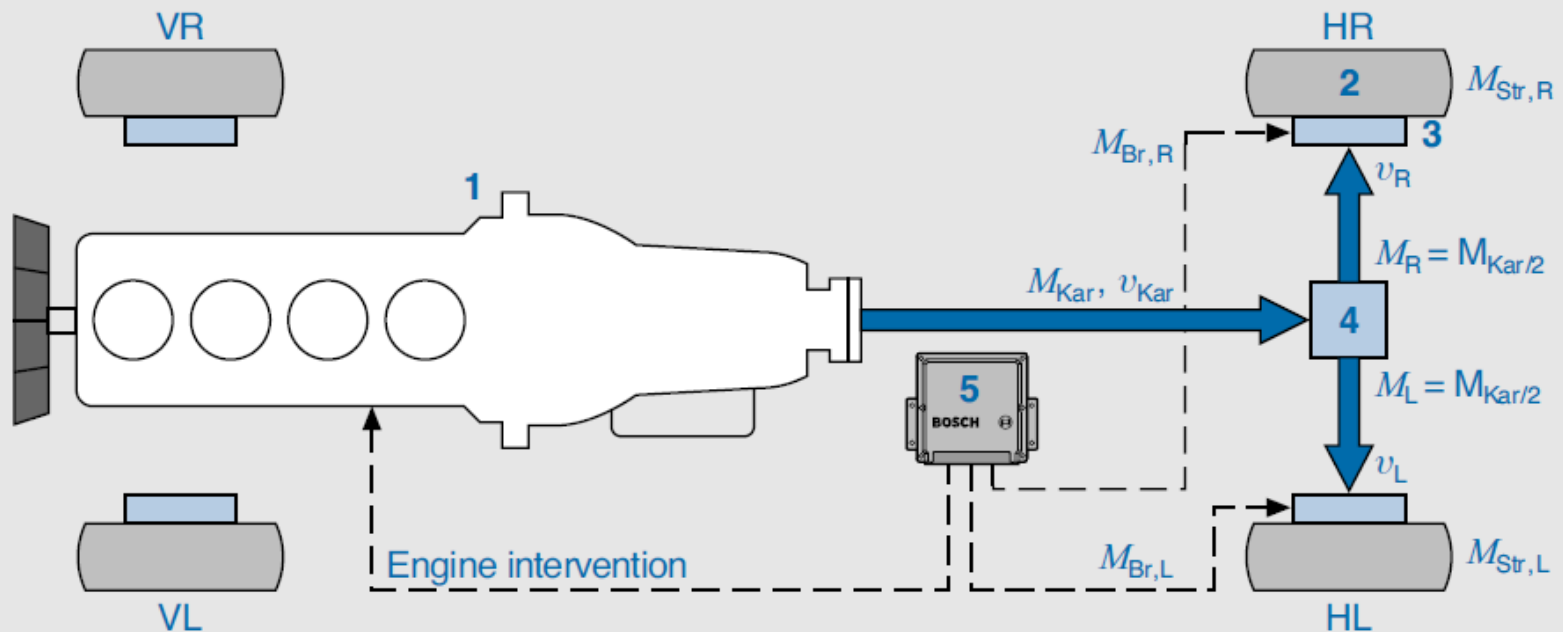
- Za razliku od ABS sistema koji spriječava blokiranje točkova pri kočenju snižavanjem kočionog pritiska, TCS sistem spriječava proklizavanje točkova smanjenjem pogonskog momenta na svakom od pogonskih točkova.
- TCS predstavlja nadogradnju ABS Sistema u uslovima ubrzanja vozila
- Pored ovog sigurnosnog zadatka da obezbijedi stabilnost i upravljivost vozila prilikom ubrzavanja, TCS system poboljšava i vuču vozila kontrolom optimalnog klizanja na μ - λ krivoj.

TCS SISTEM – FUNKCIONALNI OPIS

- Pritiskom na papučicu gasa uz aktivano kvačilo dolazi do porasta obrtnog momenta koji se preko mjenjačke kutije prenosi na pogonsku osovinu.
- Moment pogonske osovine M_{Kar} se povećava i on se pomoću poprečnog diferencijala u odnosu 50:50 raspoređuje na oba pogonska točka.
- Ako se ovaj porast obrtnog moment može preko pogonskih točkova u potpunosti prenijeti na površinu kolovoza, onda će vozilo nesmetano ubrzavati.
- Međutim, ako obrtni moment $M_{Kar}/2$ na jednom od pogonskih točkova prelazi maksimalni vrijednost koja se može prenijeti na površinu kolovoza, točak će početi proklizavati.
- Dolazi do gubitka uzdužne (pogonske) sile i vozilo postaje nestabilno zbog gubitka bočne stabilnosti.

TCS SISTEM – FUNKCIONALNI OPIS

1 Drive concept of a single-axle driven vehicle with TCS



TCS SISTEM – FUNKCIONALNI OPIS

- TCS sistem reguliše klizanje pogonskih točkova, pokušavajući da ga što prije dovede na optimalni nivo (μ - λ kriva).
- Da bi to postigao sistem prvo određuje referentnu vrednost klizanja λ .
- Ova vrijednost klizanja zavisi od niza faktora kojima se opisuje trenutna situacija u vožnji. Neki od factor su:
 - Osnovna karakteristika referentnog klizanja za TCS sistem (zasnovana na zahtjevanom proklizavanju pneumatika tokom ubrzanja),
 - Vrijednost koeficijenta trenja
 - Vanjski vučni otpor (dubok snijeg, neravan put i sl.)
 - Brzina zakretanja vozila, bočno ubrzanje i ugao upravljanja vozilom.

TCS SISTEM – DJELOVANJE

- Na brzinu točka i odgovarajuće klizanje može se uticati promjenom balansnog momenta M_{Ges} na pogonskim točkovima.
- Balansni moment M_{Ges} na svakom od pogonskih točkova jednak je razlici između pogonskog momenta $M_{Kar}/2$ i kočionog momenta M_{Br} i momenta prijanjanja pneumatika na podlogu M_{Str}

$$M_{Ges} = M_{Kar}/2 - M_{Br} - M_{Str}$$

- Iz date jednačine očigledno je da na vrijednost balansnog momenta utiče pogonski obrtni moment M_{Kar} koji obezbeđuje motor vozila kao i moment kočenja M_{Br} .
- U vozilima sa benzinskim motorom na vrijednost pogonskog momenta M_{kar} može se uticati na sljedeći način:
- Promjenom položaja leptira za kontrolu usisnog zraka

TCS SISTEM – DJELOVANJE

- U vozilima sa benzinskim motorom na vrijednost pogonskog momenta M_{kar} može se uticati na sljedeći način:
 1. Promjenom položaja leptira za kontrolu usisnog zraka,
 2. Izmjenom režima rada sistema za paljenje smješe (podešavanje trenutka paljenja smješe),
 3. Izmjenom režima rada sistema za ubrizgavanja goriva (postepeno ukidanje pojedinačni impulsa).
- Prva metoda promjene pogonskog momenta je nešto sporija, dok su ostale dvije mnogo brže (dinamičnije)
- Dostupnost svih ovih metoda zavisi od proizvođača vozila i od verzije motora
- U vozilima sa benzinskim motorom na vrijednost pogonskog momenta M_{kar} utiče elektronski sistem EDC smanjenjem količine ubrizganog goriva

TCS SISTEM – DJELOVANJE

2

Comparison of response times with various TCS interventions

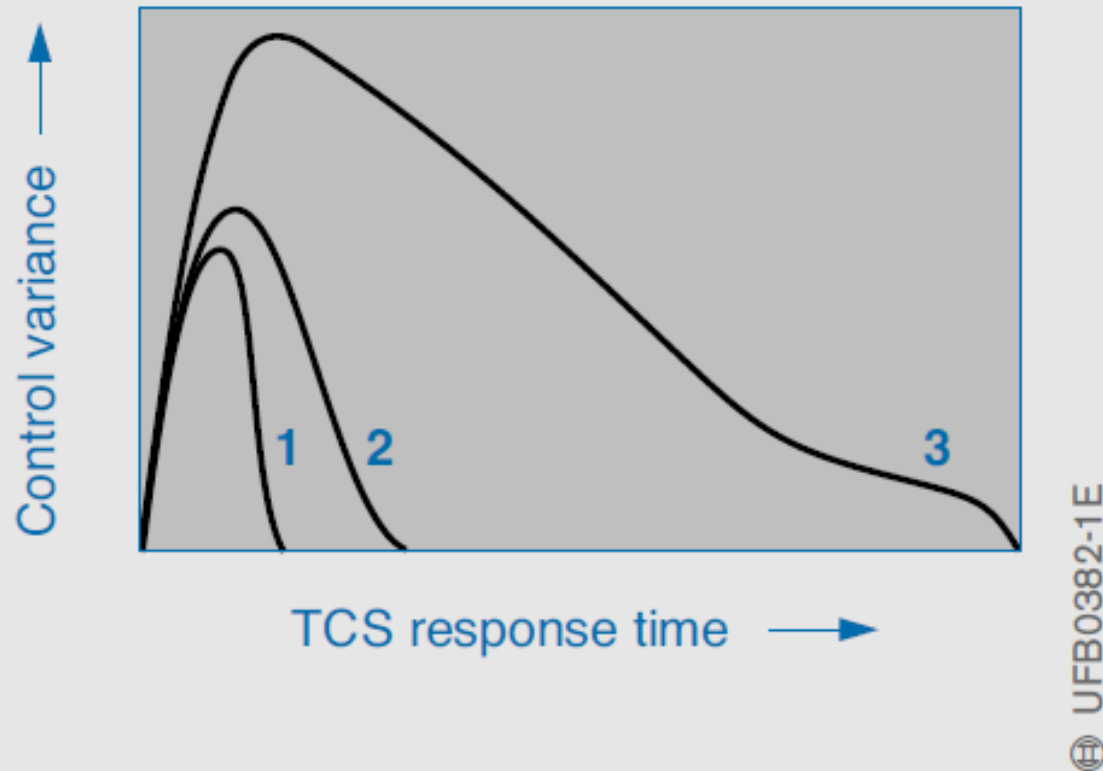


Fig. 2

- 1 Throttle-valve/wheel brake intervention
- 2 Throttle-valve intervention/ignition adjustment
- 3 Throttle-valve intervention

TCS SISTEM – DJELOVANJE

- Na prethodnoj slici data su vremena reagovanja TCS Sistema za tri različite metode promjene pogonskog momenta M_{kar} kod benzinskih motora
- Ogičledno je da regulacija pogonskog momenta M_{kar} samo promjenom položaja leptira za kontrolu usisnog zraka može biti nezadovoljavajuća zbog relativno dugog vremena odziva.
- Kočioni momenat M_{Br} za svaki točak ponaosob može se regulisati putem kočionog sistema.
- TCS zathijeva da se originalni ABS hidraulični sistem nadogradi sa funkcijom autonomnog povećanja/smanjenja pritiska u kočionom sistemu bez intervencije vozača

TCS - REGULAR BRZINE POGONSKIH TOČKOVA

- Na vrijednost brzine pogonske osovine v_{kar} ili na vrijednost pogonskog momenta M_{kar} kao je već opisano može se uticati promjenom režima rada motora.
- Takođe, simetričnim kočionim sistemima (kočiona sila primjenjena na oba pogonska točka) možemo uticati na brzinu pogonske osovine v_{Kar} , kao i na balans obrtnog momenta između pojedinih točkova na isti način kao smanjenjem pogonskog obrtnog momenta M_{Kar} .
- Simetričnim kočionim sistemom i svim metodama za promjenu režima rada motora upravlja kontroler brzine pogonskih točkova (drive axle speed controller)

TCS –REGULATOR DIFERENCIJALNE BRZINE POGONSKIH TOČKOVA

- Asimetrični kočioni sistemi (kočiona sila primjenjena na samo jedan pogonski točak) koriste se za regulaciju diferencijalne brzine na pogonskoj osovini $v_{\text{Dif}} = v_L - v_R$. Ovim asimetričnim kočionim sistemom upravlja diferencijalni regulator brzine.
- Pošto se asimetričnim kočionim sistemom utiče samo na obrtni moment jednog točka, ovaj kočioni sistem ima isti učinak kao i sistem za poprečnu raspodjelu obrtnog momenta.
- Regulator diferencijalne brzine još se naziva regulator poprečne blokade diferencijala jer u određenoj mjeri može da utiče na odnos raspodjele poprečnog obrtnog momenta
- Regulator brzine pogonskih točkova zajedno sa ovim diferencijalnim regulatorom čine osnovu TCS sistema

TCS – KOMPONENTE SISTEMA

3 TCS controller concept for a single-axle-driven vehicle (rear-wheel drive)

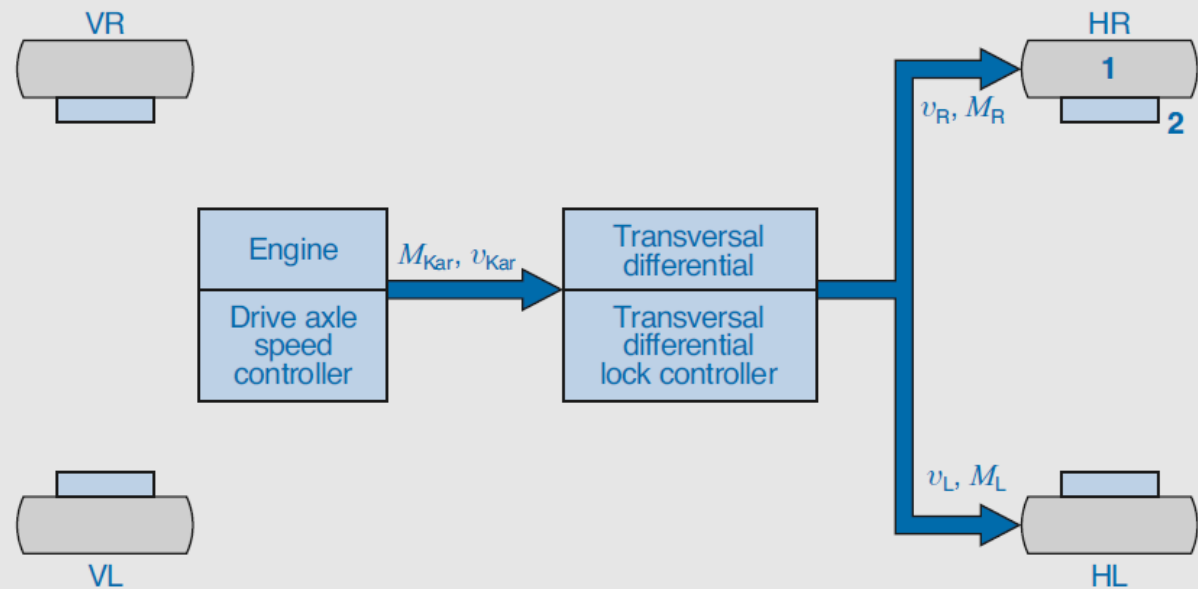


Fig. 3

- 1 Wheel
- 2 Wheel brake

v_R, v_L Wheel speeds
 v_{Kar} Drive axle speed
 M_{Kar} Drive axle torque
 V Front
 H Rear
 R Right
 L Left

TCS – KOMPONENTE SISTEMA

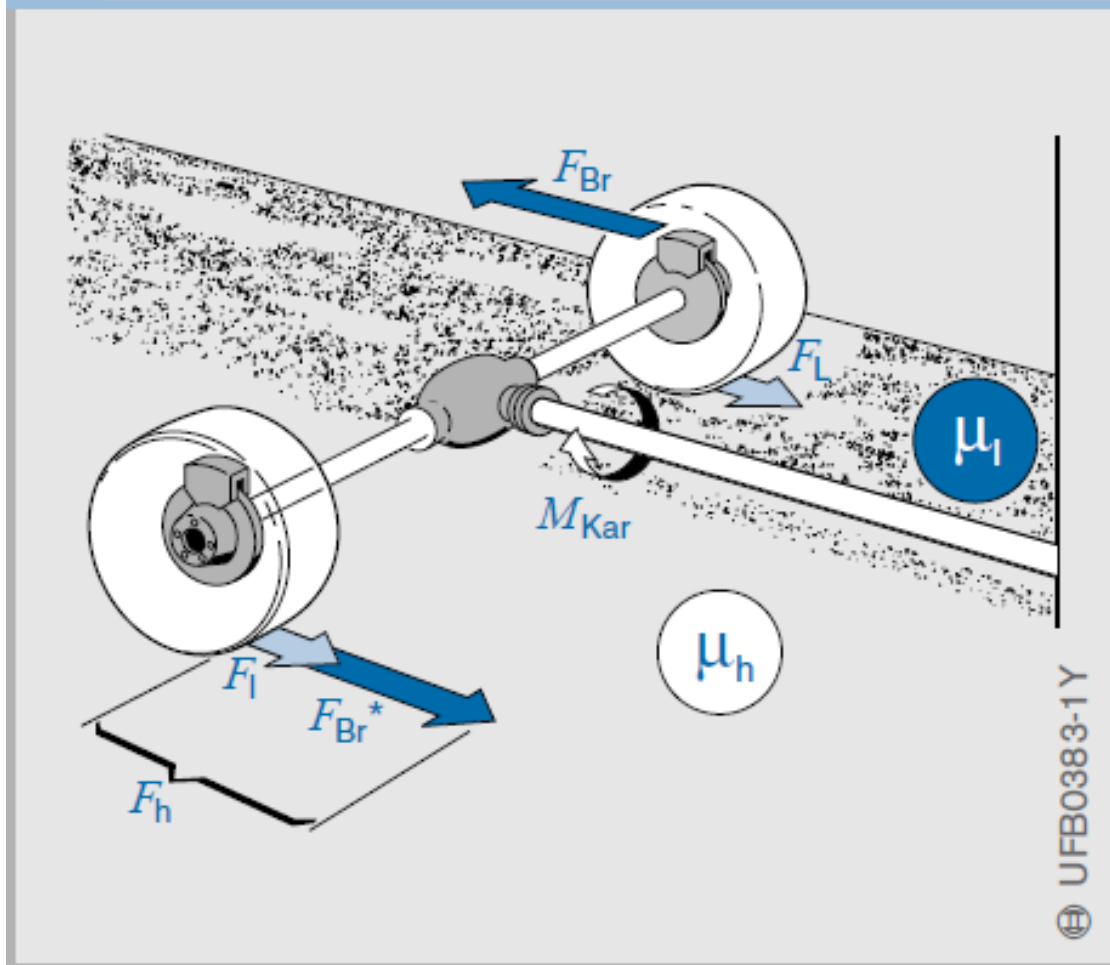
- Regulator brzine pogonske osovine na osnovu informacije o brzinu pogonske osovine v_{Kar} izračunava vrijednost pogonskog momenta M_{Kar} koju motor treba da obezbijedi.
- S druge strane, regulator diferencijalne brzine točkova koristi informaciju o razlici (diferenciji) brzina pojedinih točkova v_{Dif} , za izračunavanje odnosa raspodjele momenata na lijevi M_L i desni M_R pogonski točak, tj. raspodjelu pogonskog momenta osovine M_{Kar} na pogonske momente pojedinih točkova.

TCS – PONAŠANJE NA PODLOZI SA ASIMETERIČNIM PRIJANJANJEM ("μ-SPLIT")

- Na narednoj slici prikazan je tipičan slučaj ponašanja TCS sistema na podlozi sa asimetričnim prijanjanjem ("μ-SPLIT"), gdje regulator diferencijalne brzine točkova odmah počinje sa djelovanjem čim se vozilo pokrene
- Lijeva strana vozila nalazi se na klizavoj površini puta sa malim koeficijentom trenja μ_l (l – “low”), dok se desna strana vozila nalazi na suvom asfaltu sa znatno većim koeficijentom trenja μ_h (h – “high”)
- Pod pretpostavkom da kočioni sistem nije aktivan, regulator poprečne blokade diferencijala će pogonsku silu F_1 prenijeti ravnomjerno na svaki pogonski točak.
- Ukoliko je pogonski moment M_{Kar} prevelik, onda će on uzrokovati proklizavanje točka na klizavoj površini puta sa malim koeficijentom trenja μ_l , što dovodi do pojave diferencijalne brzine $v_{Dif} > 0$
- Na ovaj način višak pogonskog momenta troši se nepotrebno u motoru diferencijalu i mjenjaču vozila.

TCS – PONAŠANJE NA PODLOZI SA ASIMETERIČNIM PRIJANJANJEM ("μ-SPLIT")

4 Differential lock effect due to asymmetric brake application



M_{Kar} Drive torque

F_{Br} Braking force

F_{Br}^* Braking force, based on effective radii

μ_l Low coefficient of friction

μ_h High coefficient of friction

F_l Transferable motive force on μ_l

F_h Transferable motive force on μ_h

TCS – PONAŠANJE NA PODLOZI SA ASIMETERIČNIM PRIJANJANJEM ("μ-SPLIT")

- Da bi se spriječilo proklizavanje točka na klizavoj površini puta sa malim koeficijentom trenja μ_l , na toj strani primjenjuje se kočiona sila F_{Br} . Ova kočiona sila se preko diferencijala prenosi na drugi tačak.
- Pošto se desna strana vozila nalazi na suvom asfaltu sa znatno većim koeficijentom trenja μ_h na ovo pogonskom točku pojaviće se pogonska sila $F_{Br}^* + F_l$.
- Ova sposobnost regulator diferencijalne brzine točkova da poveća vuču je sastavni dio TCS Sistema
- Pogonski momenat M_{Kar} se reguliše tako da se maksimalna pogonska sila isporuči pogonskim točkovima
- Vrijednost koeficijent prijanjanja μ_h predstavlja gornju granicu.

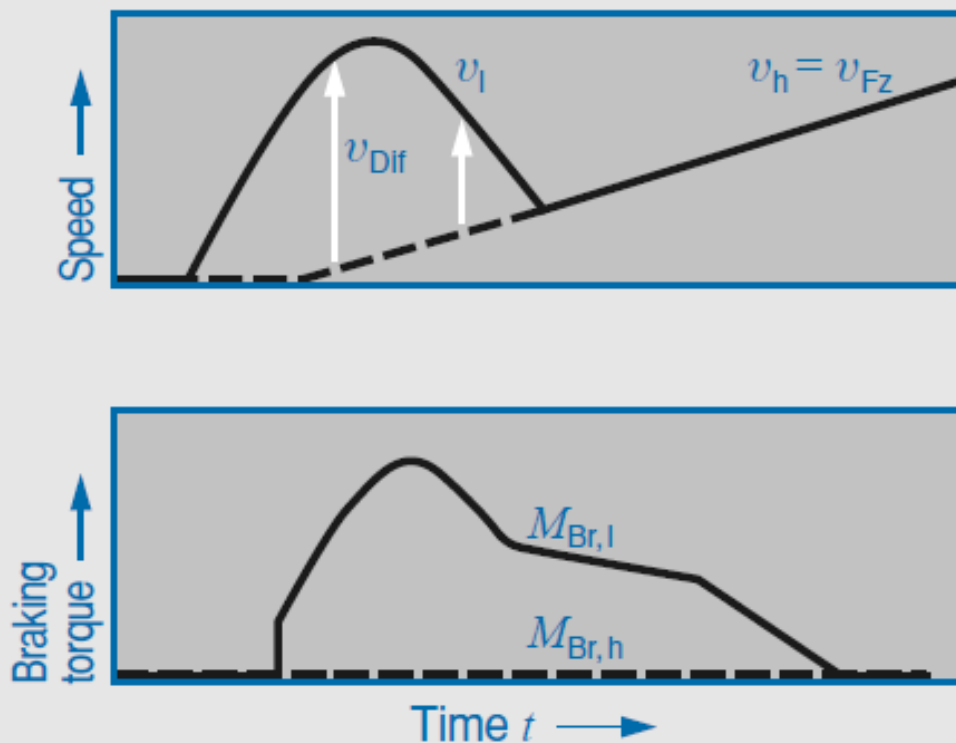
TCS – PONAŠANJE NA PODLOZI SA ASIMETERIČNIM PRIJANJANJEM ("μ-SPLIT")

- Kada oba pogonska točka počnu da se okreću sinhrono ($v_{Dif} = 0$) kočiona sila F_{Br} i odgovarajući kočioni moment M_{Br} koja je bila primjenjena na samo jedan točak se smanju kao što je to prikazano na na rednoj slici
- Porast i smanjenje kočionog momenta M_{Br} zavisi od implementacije regulator diferencijalne brzine točkova.
- Najčešće je to linearni PI regulator

TCS – PONAŠANJE NA PODLOZI SA ASIMETERIČNIM PRIJANJANJEM ("μ-SPLIT")

5

Typical wheel speed and braking torque curves when setting off on μ -split



v Wheel speed

M_{Br} Braking torque

l Low- μ wheel

h High- μ wheel

v_{Fz} Vehicle speed

v_{Dif} Differential speed

TCS – PONAŠANJE NA PODLOZI SA ASIMETERIČNIM PRIJANJANJEM ("μ-SPLIT")

- Kada oba pogonska točka počnu da se okreću sinhrono ($v_{Dif} = 0$) kočiona sila F_{Br} i odgovarajući kočioni moment M_{Br} koja je bila primjenjena na samo jedan točak se smanju kao što je to prikazano na na rednoj slici
- Porast i smanjenje kočionog momenta M_{Br} zavisi od implementacije regulator diferencijalne brzine točkova.
- Najčešće je to linearni PI regulator

TCS – REGULATOR BRZINE POGONSKE OSOVINE

- Ukoliko su oba pogonska točka na klizavom putu, gdje površina kolovoza ima mali koeficijent trenja μ (npr. vozilo stoji na ledu), prilikom naglog polaska vozila regulator brzine pogonske osovine TCS postaje aktivan.
- Ako vozač pritiskom na papučicu gasa poveća zadanu vrijednost momenta $M_{FahVorga}$, pogonski moment M_{kar} poveća se istovremeno i oba pogonska točka počnu da proklizavaju okreću se istom brzinom.
- To znači da je razlika brzina pojedinih točkova $v_{Dif} = 0$, dok je brzina pogonske osovine $v_{Kar} = (v_L + v_R)/2 = v_L = v_R$ mnogo veća od referentne vrijednosti v_{SoKar} koju je izračunao TCS system zbog proklizavanja pogonskih točkova
- Regulator brzine pogonske osovine reaguje smanjujući obrtni moment M_{Kar} na vrijednost manju od zadane vrijednosti $M_{FahVorga}$, koju je odredio vozač pedalom papučice gasa, primjenom simetričnog kratkotrajnog kočionog momenta $M_{Br, Sim}$

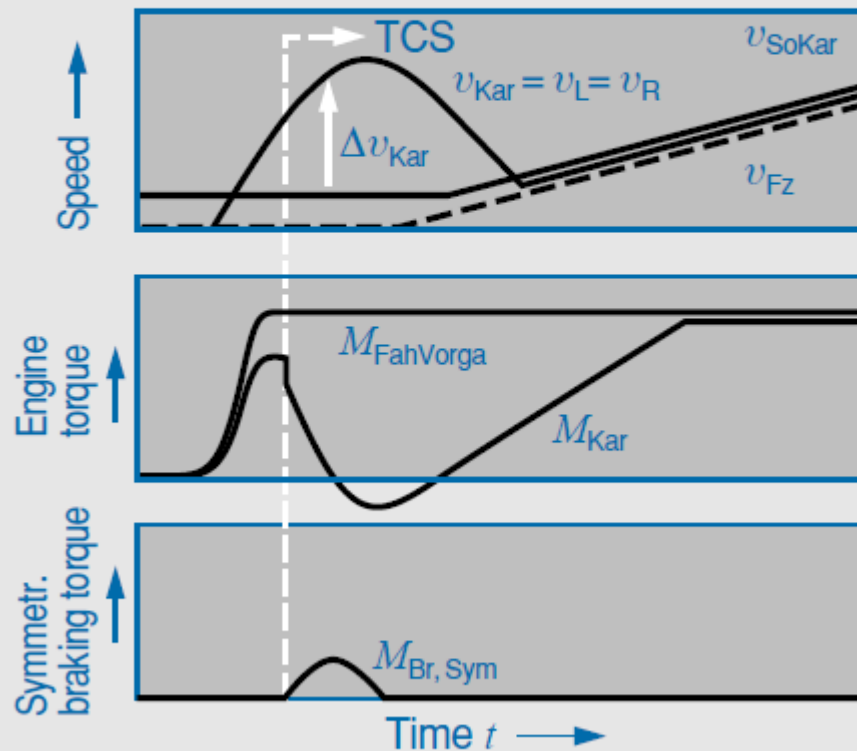
TCS – REGULATOR BRZINE POGONSKE OSOVINE

- Kao rezultat toga, smanjuje se brzina pogonske osovine v_{Kar} , a samim tim i brzina točkova. Kao rezultat vozilo počinje ubrzavati.
- Bez intervencije TCS sistema optimalna tačka na μ - λ krivoj ne bi bila dostignuta, ubrzanje vozila bi bilo sporije zbog proklizavanja točkova i vozilo bi imalo mnogo manju bočnu stabilnost.
- Izgled karakteristika pogonskog M_{Kar} i kočionog $M_{Br,Sim}$ momenta zavisi od implementacije regulatora brzine pogonske osovine (najčešće je to PID regulator).

TCS – REGULATOR BRZINE POGONSKE OSOVINE

6

Typical wheel speed, engine and braking torque curves when setting off on low- μ



© UFB0759E

Fig. 6

v Wheel speed

v_{Fz} Vehicle speed

v_{Kar} Drive axle speed

v_{SoKar} Drive axle speed
reference value

$M_{Br, Sym}$ Symmetric
braking torque

$M_{FahVorga}$ Driver-specified
drive torque
(via accelerator
pedal position)

L Left

R Right

TCS – KOD VOZILA SA POGONOM NA SVIM TOČKOVIMA

- Kod vozila sa pogonom na sva četiri točka, pored poprečnog diferencijala potreban je još jedan dodatni uzdužni diferencijal, koji se još naziva i centralni diferencijal

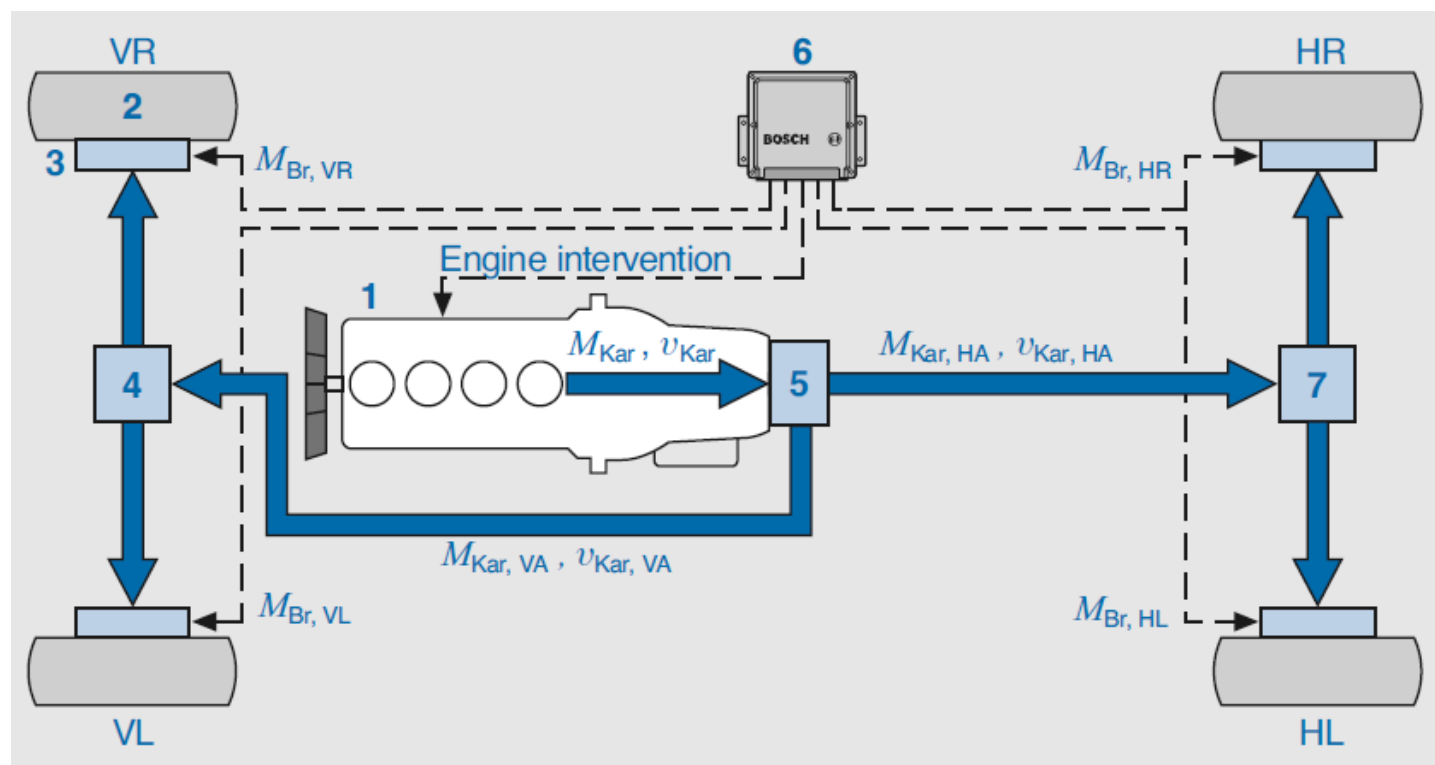


Fig. 7

- 1 Engine with transmission
- 2 Wheel
- 3 Wheel brake
- 4 Transversal differential
- 5 Longitudinal differential
- 6 Control unit with TCS functionality
- 7 Transversal differential

TCS – KOD VOZILA SA POGONOM NA SVIM TOČKOVIMA

- Prvi zadatak uzdužnog diferencijala je kompenzacija razlike između brzine između prednje i zadnje osovine pogonske osovine $v_{Kar,VA}$ i $v_{Kar,HA}$.
- Manje skupa SUV vozila često su opremljeni uzdužnim diferencijalom sa unapred podešenom omjerom raspodjele momenta. Za razliku od poprečnog diferencijala, koriste se i omjeri raspodjele obrtnog momenta koji su različiti od 50:50
- Tako na primjer odnos 60:40 koristi se za naglasak pogona na zadnjim točkovima vozila.
- TCS sistem ima mogućnost da preko sistema kočenja oponaša rad uzdužnog diferencijala tj. da radi kao regulator blokade uzdužnog diferencijala
- Primjenom kočione sile za smanjenje momenta $M_{Kar,VA}$, omjer raspodjele između momenata $M_{Kar,HA}$ i $M_{Kar,VA}$ se povećava i obrnuto, primjenom kočione sile za smanjenje momenta $M_{Kar,HA}$ omjer raspodjele između momenata se smanjuje.

TCS – KOD VOZILA SA POGONOM NA SVIM TOČKOVIMA

- Princip rada je isti kao kod regulator poprečne blokade diferencijala
- Jedina razlika je ta, što kočioni moment nije asimetričan, već se simetrično pojavljuje na oba točka jedne pogonske osovine
- Ovaj regulator kao ulazne parametre uzima informacije o brzinama pogonskih osovina $v_{Kar,VA}$ i $v_{Kar,HA}$, umjesto razlike u brzinama točkova jedne pogonske osovine kao što je to bio slučaj kod regulatora poprečne blokade diferencijala
- Na narednoj slici prikazan je koncept TCS kod vozila sa pogonom na svim točkovima
- Kao i kod vozila sa jednom pogonskom osovinom, regulator brzine pogonske osovine koristi brzinu pogonske osovine v_{Kar} za regulisanje zakretnog momenta M_{Kar} koji obezbjeđuje motor.
- Regulator blokade uzdužnog diferencijala prenosi ovaj obrtni moment na prednju i zadnju osovину $M_{Kar,VA}$ i $M_{Kar,HA}$.

TCS – KOD VOZILA SA POGONOM NA SVIM TOČKOVIMA

8 TCS controller concept for a four-wheel-drive vehicle

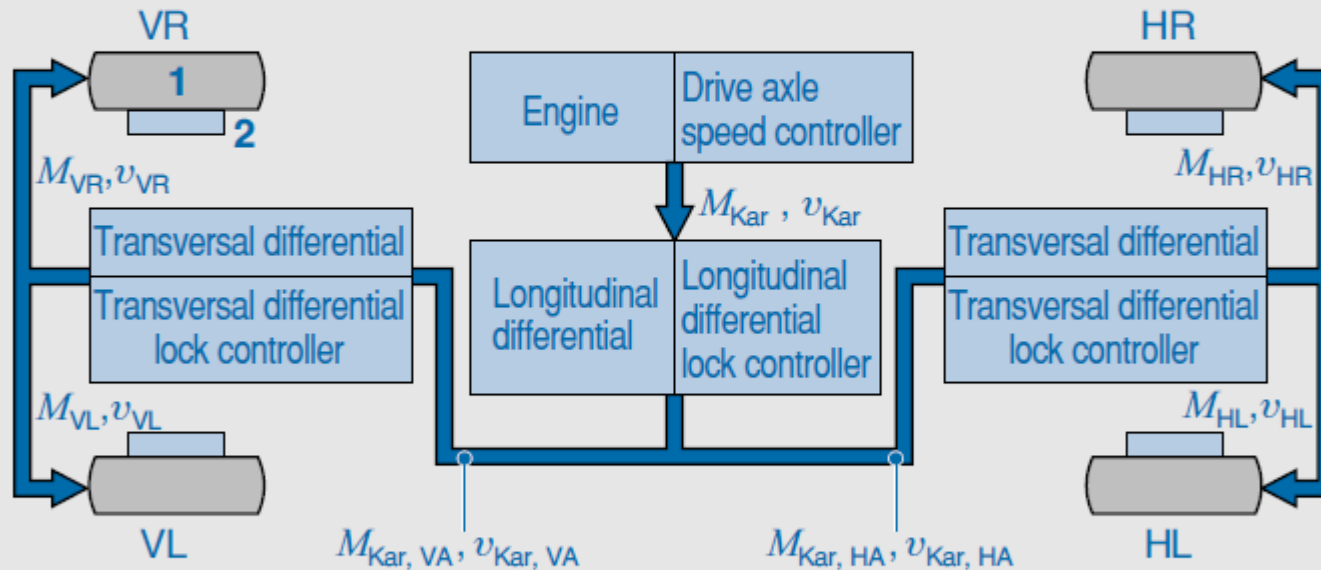


Fig. 8

- 1 Wheel
- 2 Wheel brake
- v Wheel speed
- v_{Kar} Drive axle speed
- M_{Kar} Drive axle torque
- A Axle
- V Front
- H Rear
- R Right
- L Left

TCS – KOD VOZILA SA POGONOM NA SVIM TOČKOVIMA

- Regulator blokade poprečnog diferencijala koristi informaciju o razlici brzina između prednje i zadnje pogonske osovine $v_{Dif, XA}$ za regulisanje raspodjele pogonskog momenta $M_{Kar, XA}$ na prednju i zadnju pogonsku osovinu.

TCS – PREDNOSTI

- Izbjegavaju su nestabilni uslovi vožnje i time se poboljšava sigurnost.
- Povećana vučna snaga usljed regulisanja optimalnog klizanja λ .
- Oponašanje funkcije blokade poprečnog diferencijala
- Oponašanje funkcije blokade uzdužnog diferencijala kod vozila sa pogonom na sva četiri točka
- Automatska kontrola snage motora
- Smanjenje potrošnje guma
- Smanjivanje habanja pogonskog mehanizma (menjač, diferencijal, itd.), naročito kod “ μ -splitu” prijanjanja ili ako se točak naglo pokrene na površini kolovoza i ako ima dobro prijanjanje.
- Efikasna dvostruka upotreba postojećih ABS hidrauličnih komponenti