

MEHATRONIČKI SISTEMI KOD MOTORA I VOZILA

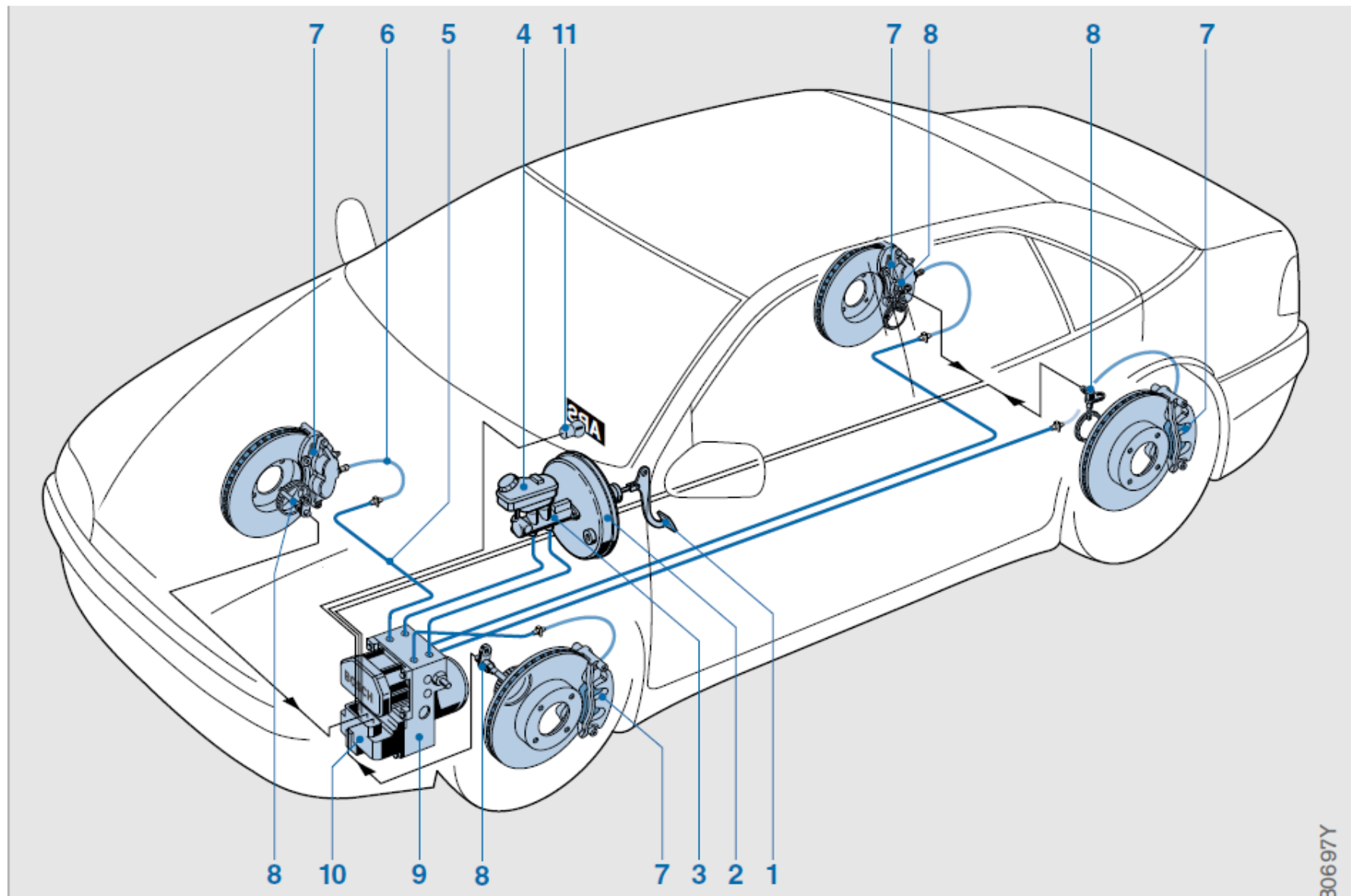
ABS SISTEM U VOZILIMA

**Spring 2020
by
Slobodan Lubura**

ABS - UVODNE NAPOMENE

- U opasnim uslovima vožnje moguće je da u toku kočenja vozila dođe do blokiranja obrtanja točkova.
- Mogući uzroci blokiranja točkova mogu biti mokre ili klizave površine puta i nagle reakcije vozača (neočekivana opasnost)
- Kao rezultat vozilo može postati nekontrolisano, početi da kliže i može da napusti kolovoz
- ABS je elektro-hidraulični sistem koji sprečava blokiranje točkova prilikom kočenja
- On detektuje da li je jedan ili više točkova blokirao pri kočenju i ukoliko se to desilo, osigurava da pritisak kočnice ostane konstantan ili smanjen, kako bi se spriječilo njihovo blokiranje
- Na taj način, vozilo ostaje upravljivo, te može brzo i sigurno kočiti ili se zaustaviti.

KOMPONENTE ABS SISTEMA



KOMPONENTE ABS SISTEMA

- 1 – Pedala kočnice
- 2 – Servo pojačavač
- 3 – Glavni kočioni cilindar
- 4 – Rezervoar kočionog ulja
- 5 – Kočione cijevi
- 6 – Kočiona crijeva
- 7 – Kočiona čeljust sa kočionim cilindrom
- 8 – senzor brzine obrtanja točka
- 9 – Hidraulični modulator
- 10 – ABS upravljačka jedinica
- 11 – ABS lampica upozorenja

ZAHTJEVI NA ABS SISTEM

- Sistem za kontrolu kočenja treba da obezbjedi stabilnost i upravljivost vozila na svim vrstama kolovoza (od suvih kolovoza sa dobrom prionjivošću do potpunog leda na kolovozu)
- ABS sistem bi trebao maksimalno iskoristiti stepen prijanjana između guma i površine kolovoza pri kočenju, dajući prednost stabilnosti i upravljivosti vozila u odnosu na minimizaciju zaustavnog puta vozila. Sistem ne bi trebao praviti nikakvu razliku u tome da li vozač nasilno koči ili postepeno povećava silu kočenja do točke u kojoj se točkovi blokiraju
- Upravljački system za kontrolu kočenja treba da se brzo prilagođava promjenama prijanjanja guma na površini kolovoza, npr. na suvom kolovozu sa povremenim ledenim ploham blokiranje točkova na ledu mora biti ograničeno na kratke vremenske razmake. Istovremeno treba omogućiti maksimalno iskorišćenje prijanjana tamo gdje je kolovoz suv

ZAHTJEVI NA ABS SISTEM

- Pri kočenju u uslovima gdje se prijanjanje između točkova razlikuje (npr. točkovi na jednoj strani su na ledu, a točkovi na drugoj strani vozila su na suvom asfaltu - nazivaju se još "μ-split" uslovi) pojavljuju se sile koje imaju tendenciju okretanja vozila oko njegove vertikalne osovine, tj. zakretanja vozila bočno. Upravljački sistem kočenja trebao bi da uspori progresiju ovih sila, tako da bi „prosječni vozač“ mogao održati stabilnost vozila.
- Pri vožnji u krivinama vozilo bi trebalo da zadrži stabilnost i upravljivost pri kočenju i da koči što je brže moguće tako da njegova brzina bude ispod granične brzine kretanja u krivini (to je maksimalna brzina kojom se vozilo može kretati u krivini bez pogona motora)
- Sistem bi takođe trebao osigurati stabilnost i upravljivost vozila sa dobrim kočionim performansama na grbavim i neravnim kolovozima, bez obzira na kočionu silu vozača vozila

ZAHTJEVI NA ABS SISTEM

- Sistem za upravljanje kočenjem vozila trebao bi biti u stanju da detektuje situaciju kada točkovi „lebde“ na foliji vode i reaguje na odgovarajući način. Pri tome mora on mora biti u mogućnosti da održi upravljivost vozila i pravac
- Sistem za upravljanje kočenjem mora biti efikasan u cijelom rasponu brzina vozila sve do brzine puzanja (minimalna ograničenje brzine oko 2,5 km/h). Ako se točkovi blokiraju ispod minimalne granice, pređena udaljenost prije zaustavljanja vozila nije kritična
- Podešavanja sistema za upravljanjem kočenjem zbog postojanja histerezisa kočionog sistema (zakašnjena reakcija nakon otpuštanja kočnica) i efekata rada motora (kada se koči sa uključenim pogonom) moraju trajati što kraće.

ZAHTJEVI NA ABS SISTEM

- Nagib vozila usljed vibracija u sistemu za ovjes vozila mora biti spriječen
- U upravljačkom sistemu vozila mora postojati nadzorni krug koji konstantno provjerava da li ABS sistem ispravno funkcioniše. Ako se otkrije greška koja može ugroziti performance kočionog sistema ABS system treba isključiti. Kontrolana lampica daje znak vozaču da li ABS radi ili ne

PONAŠANJE TOČKA PRI DEJSTVU KOČIONOG MOMENTA

- Točak je u usporenom kretanju ($\alpha_R < 0$)

Momentna jednačina kretanja točka:

$$J_c \dot{\omega} = r_D \cdot R_X - e \cdot G_T - M_K$$

M_K – kočioni moment

G_T – vertikalno opterećenje točka

R_Z – vertikalna reakcija podloge

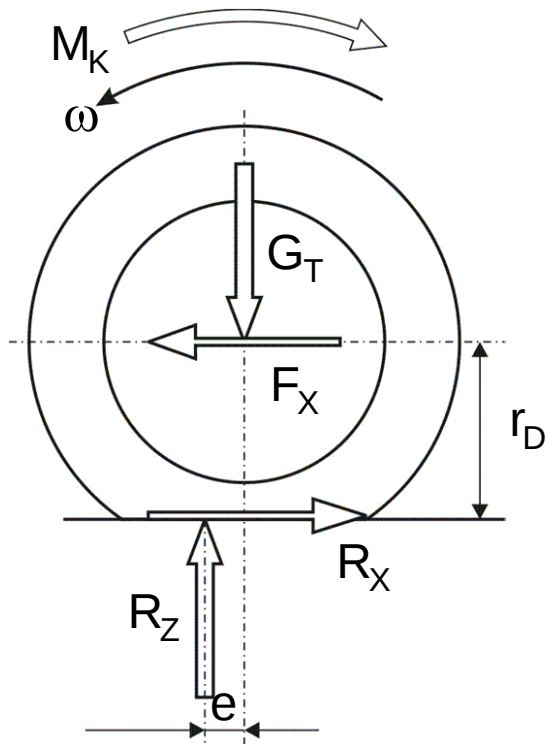
F_X – horizontalna reakcija između vozila i točka
(sila kojom vozilo povlači točak)

R_X – tangencijalna reakcija između točka i podloge

e – ekscentar vertikalne reakcije

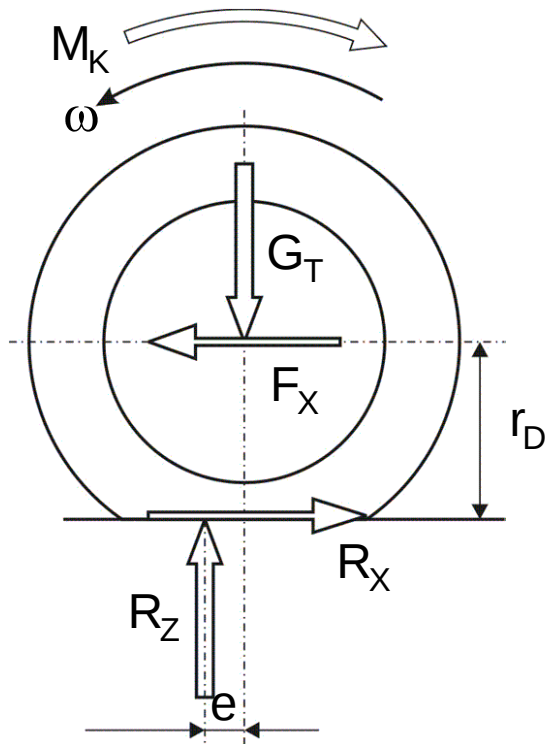
r_D – dinamički radijus točka

$e / r_D = f$ – koeficijent otpora kotrljanja



PONAŠANJE TOČKA PRI DEJSTVU KOČIONOG MOMENTA

- Točak je u usporenom kretanju ($\alpha_R < 0$)



Iz momentne jednačine dobija se izraz za stvarnu tangencijalnu reakciju R_X pri kočenju točka:

$$R_X = -\frac{J_c |\dot{\omega}|}{r_D} + \frac{e \cdot G_T}{r_D} + \frac{M_K}{r_D}$$

$$R_X = -\frac{J_c |\dot{\omega}|}{r_D} + F_T + F_K$$

$$F_T = \frac{e \cdot G_T}{r_D}, F_K = \frac{M_K}{r_D}$$

Dio kočnog momenta M_K se “troši” na usporavanje obrtnih masa $J_c \dot{\omega}$ i $e \cdot G_T$, a ostatak na translatorno usporenje $-R_X$

PONAŠANJE TOČKA PRI DEJSTVU KOČIONOG MOMENTA

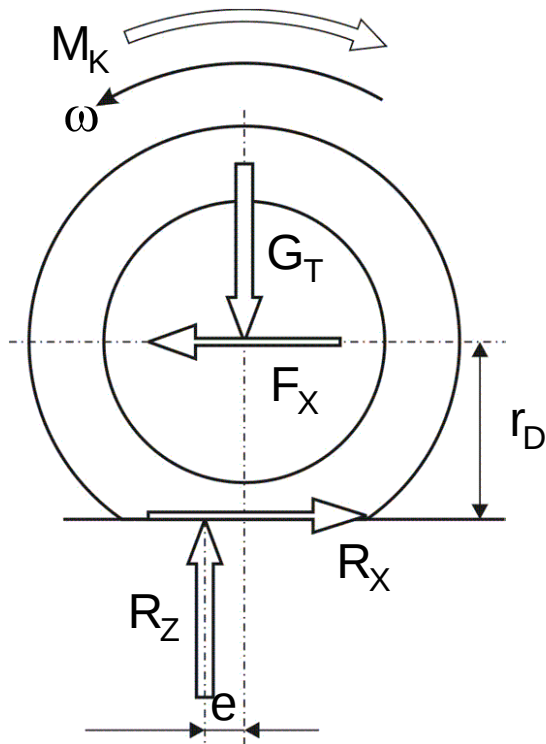
- **Maksimalna vrijednost sile kočenja**

Iz uslova prijanjanja između pneumatika i podloge slijedi:

$$R_{X\max} = \mu_{\max} \cdot G_{\mu}$$

G_{μ} – vertikalno opterećenje točka

μ - koeficijent prijanjanja podloge



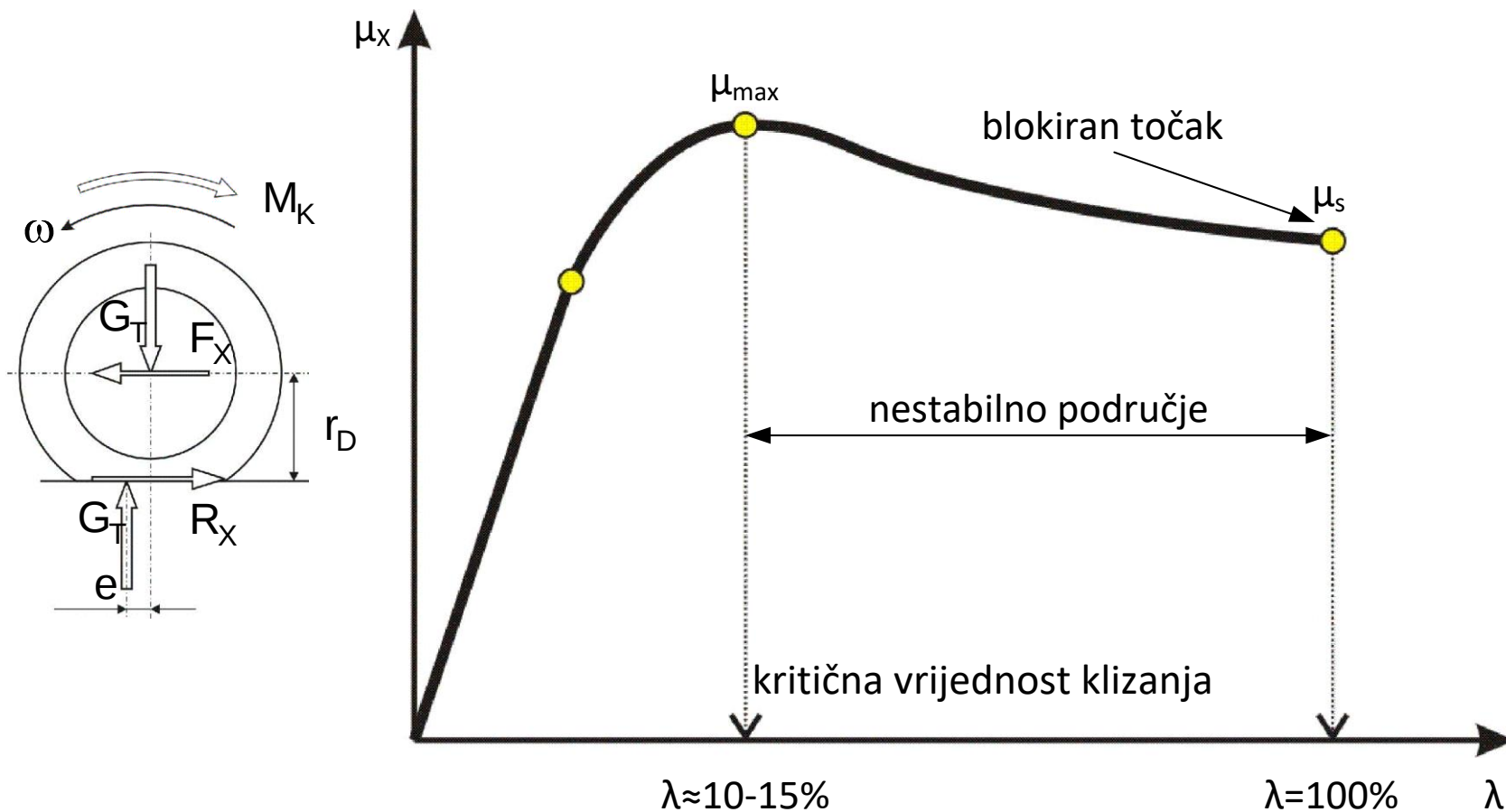
PONAŠANJE TOČKA PRI DEJSTVU KOČIONOG MOMENTA

- Prilikom kočenja dolazi do uzdužnog klizanja. Klizanje – označava zaostajanje obodne brzina točka v_R , u odnosu na linearnu brzinu kretanja vozila (putna brzina) v_F .

$$\lambda = \frac{v_F - v_R}{v_F} \cdot 100\%$$

- Koeficijent uzdužnog prijanjanja podloge μ_X predstavlja odnos uzdužne i vertikalne sile na točku ($\mu_X = R_X/G_T$) i mijenja sa intenzitetom klizanja λ : $\mu_{X_{\max}} \Rightarrow \lambda \sim 10 - 15 \%$ (početak potpunog proklizavanja kontaktne površine)
- Zavisnost koeficijenta prijanjanja vozila μ na površinu po kojoj se kreće u odnosu na proklizavanje točka λ daje se grafičkim putem preko μ - λ krive

PONAŠANJE TOČKA PRI DEJSTVU KOČIONOG MOMENTA: μ - λ KRIVA

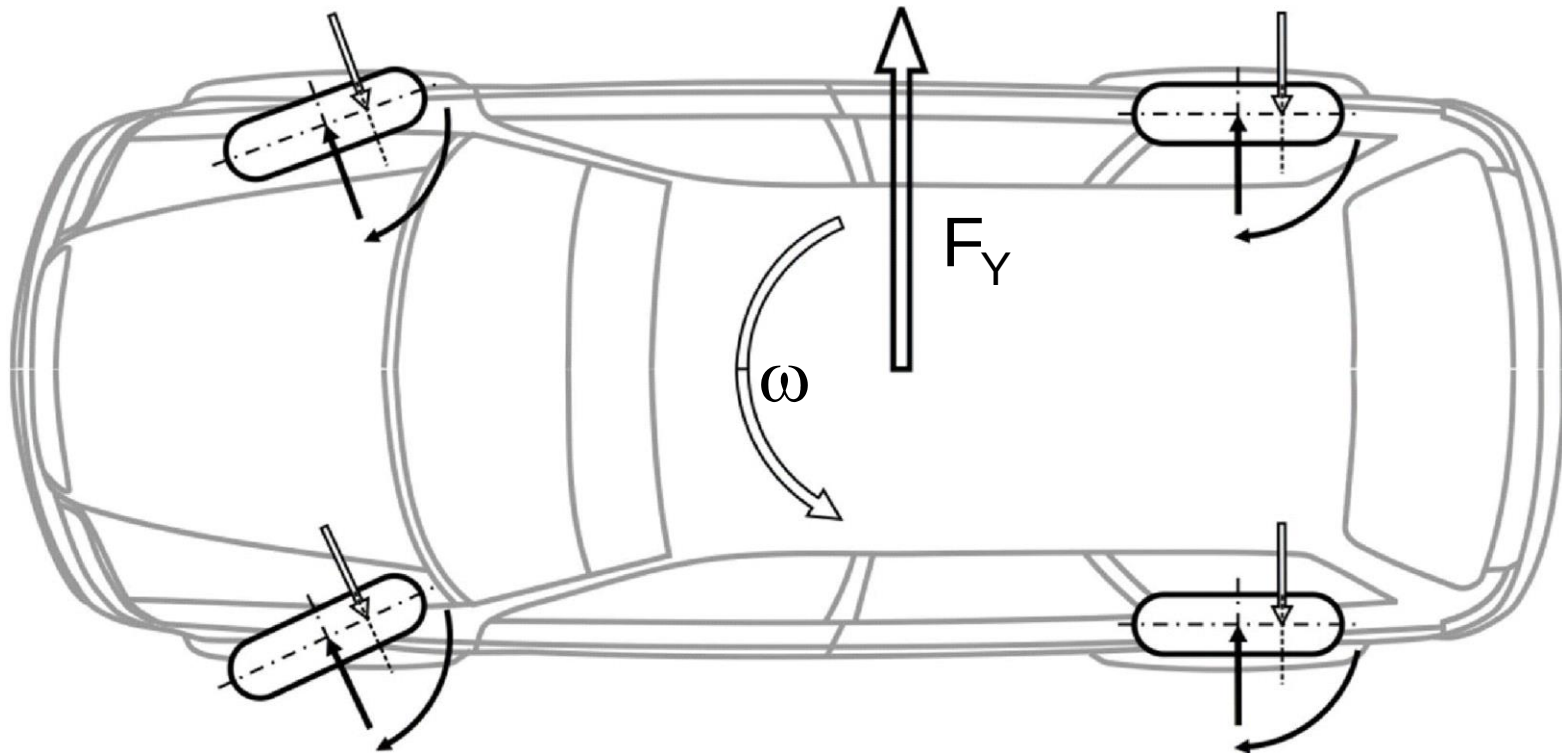


PONAŠANJE TOČKA PRI DEJSTVU KOČIONOG MOMENTA: μ - λ KRIVA

- Na μ - λ krivoj mogu se se razlikovati stabilni i nestabilni dio krive.
- U stabilnom dijelu μ - λ krive sve do kritične vrijednosti prijanjanja μ_{max} porast kočnog momenta M_K dovodi do porasta intenziteta tangencijalne reakcije točka R_X . Porast R_X po smjeru djelovanja suprotstavlja se porastu ugaonog ubrzanja/usporenja točka $\alpha_R = \dot{\omega}$, tj. točak usporava.
- Nakon porasta klizanja λ iznad kritične vrijednosti, dolazi do smanjenja intenziteta tangencijalne reakcije točka R_X i do naglog porasta intenziteta ugaonog usporenja točka α_R .
- Ovo izaziva dalji porast klizanja λ , što povlači za sobom još veći pad tangencijalne reakcije točka R_X i do trenutnog blokiranja točka u tački $\lambda = 1$ (100%)

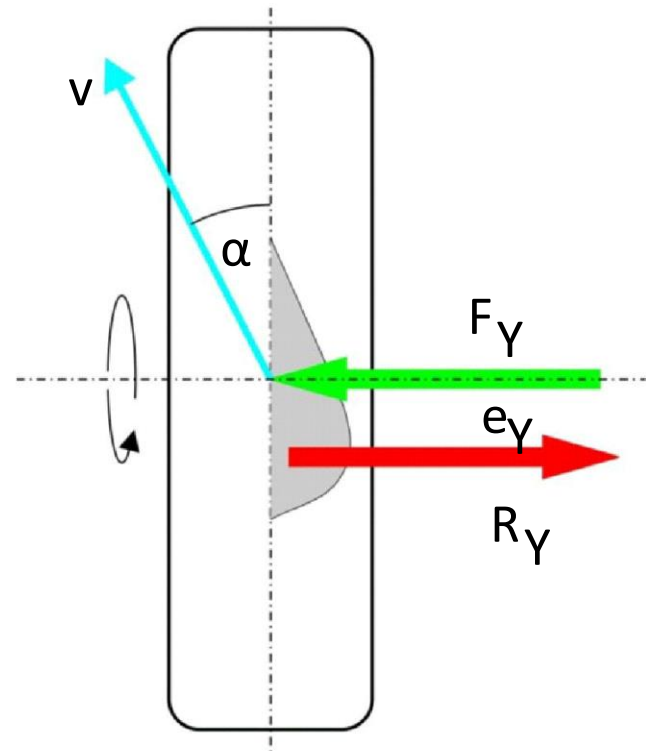
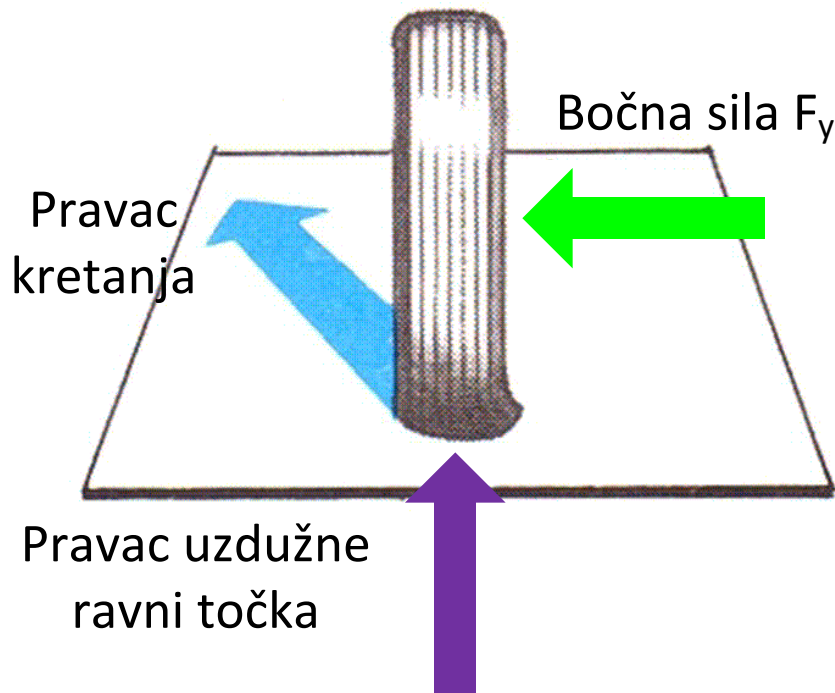
PONAŠANJE TOČKA PRI DEJSTVU BOČNE SILE

- Prilikom kretanja vozila pored uzdužne sile F_X kojom vozilo povlači točak, može da se pojavi se i bočna sila F_Y kojom vozilo djeluje na točak
- Uzroci pojave bočne sile: kretanje kroz krivinu, bočni vjetar, bočni nagib puta



PONAŠANJE TOČKA PRI DEJSTVU BOČNE SILE

- Usljed postojanja bočne sile F_Y javlja se bočna reakcija podloge R_Y
- Pri tome dolazi do bočne deformacije gazećeg sloja točka usljed čega vektor brzine centra točka obrazuje ugao u odnosu na pravac uzdužne ravni točka. Taj ugao se naziva ugao povodenja α



KOMBINOVANOG DEJSTVO UZDUŽNE I BOČNE SILE

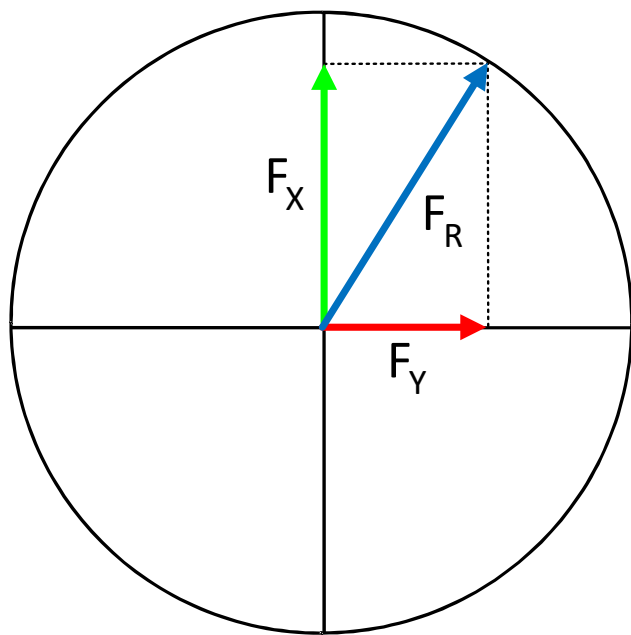
- Uzdužna F_X i bočna F_Y sila obrazuju rezultantnu silu točka F_R :

$$\vec{F}_R = \vec{F}_X + \vec{F}_Y;$$

$$F_R^2 = F_X^2 + F_Y^2;$$

$$F_{R\max} = G_\mu \cdot \mu_{\max}$$

$$F_X^2 + F_Y^2 = (G_\mu \cdot \mu_{\max})^2 \rightarrow \text{jednačina kružnice}$$

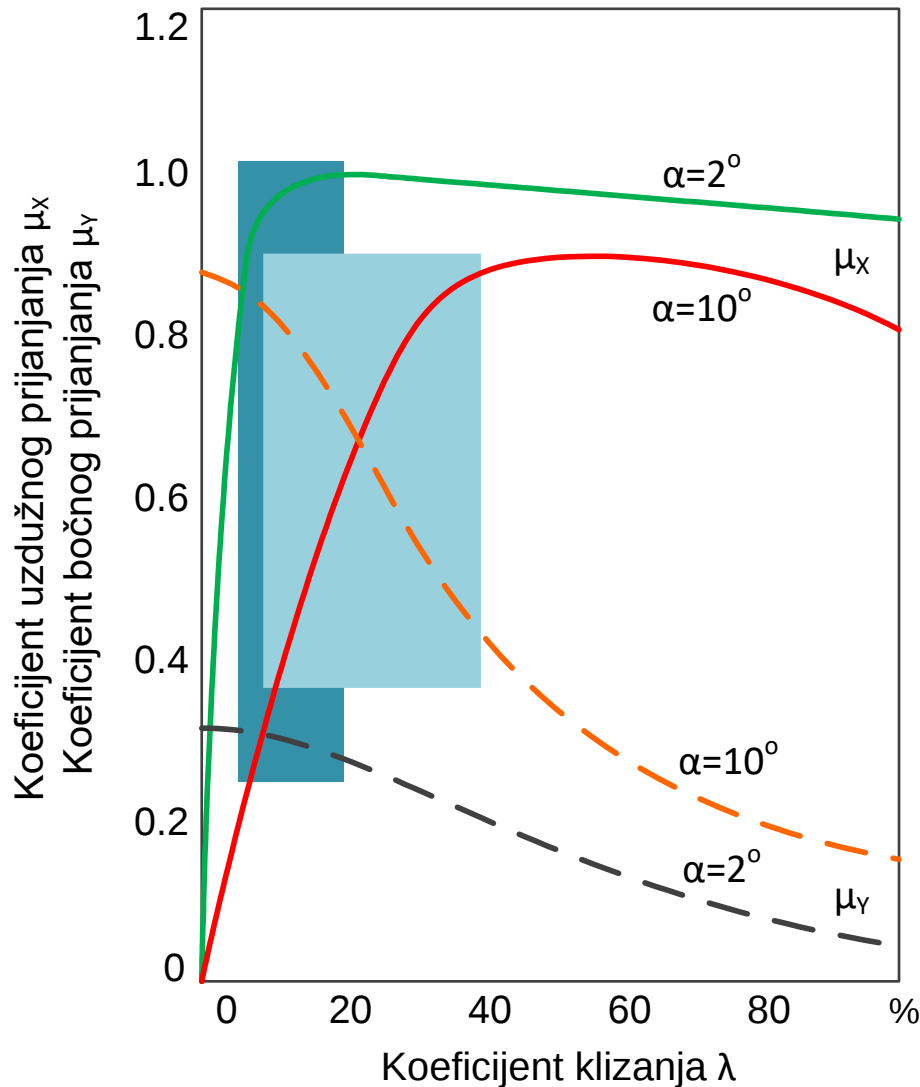


- Što je veće F_X , manje prijanjanja ostaje za realizaciju F_Y i obrnuto!

PONAŠANJE TOČKA PRI DEJSTVU UZDUŽNE I BOČNE SILE

- Koeficijent uzdužnog prijanjanja podloge μ_X predstavlja odnos uzdužne i vertikalne sile na točku ($\mu_X = R_X/G_T$)
- Koeficijent bočnog prijanjanja podloge μ_Y predstavlja odnos bočne i vertikalne sile na točku ($\mu_Y = R_Y/G_T$)
- Vrijednosti oba ova koeficijenta prijanja podloge zavise od ugla povodenja točka α

PONAŠANJE TOČKA PRI DEJSTVU UZDUŽNE I BOČNE SILE



μ_x - koeficijent uzdužnog prijanjanja podloge

μ_y - koeficijent bočnog prijanjanja podloge

λ - koeficijent klizanja

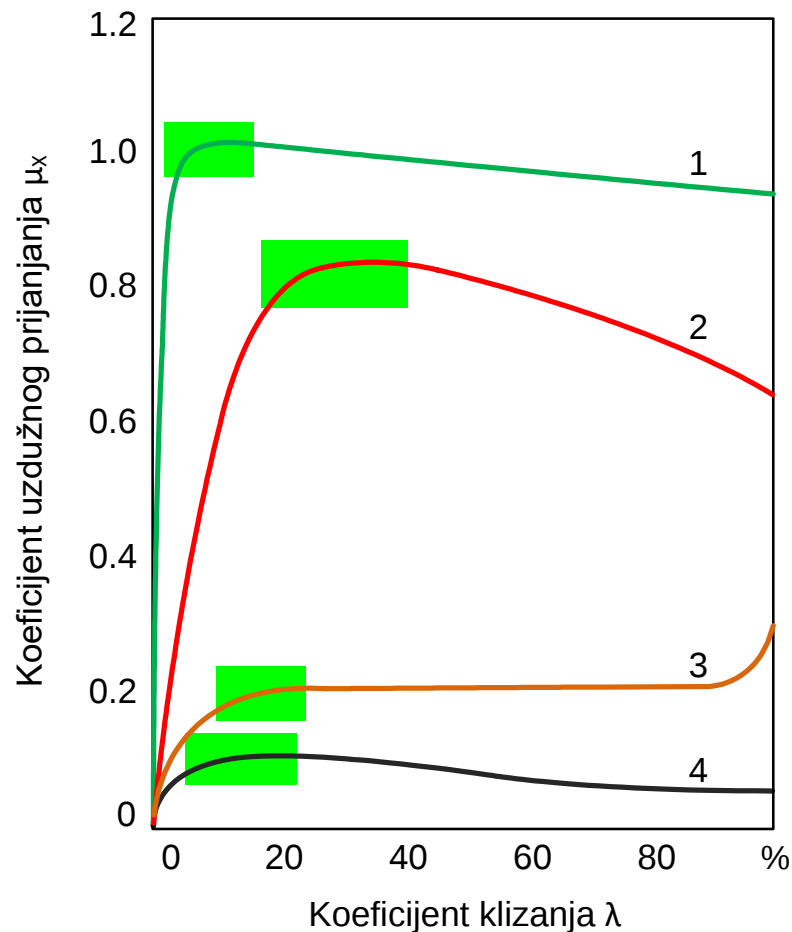
α - ugao provođenja točka

■ - zona djelovanja ABS Sistema

■ - zona djelovanja ABS Sistema

UTICAJ TIPA PODLOGE NA UZDUŽNO PRIJANJANJE

- Tip podloge po kojoj se vozilo kreće bitno utiče na vrijednosti koeficijent uzdužnog prijanjanja μ_x



1 - radialna guma na suvom betonu

2 - dijagonalna guma na mokroj travi

3 - radialna guma na malom snijegu

4 - radialna guma na poledici

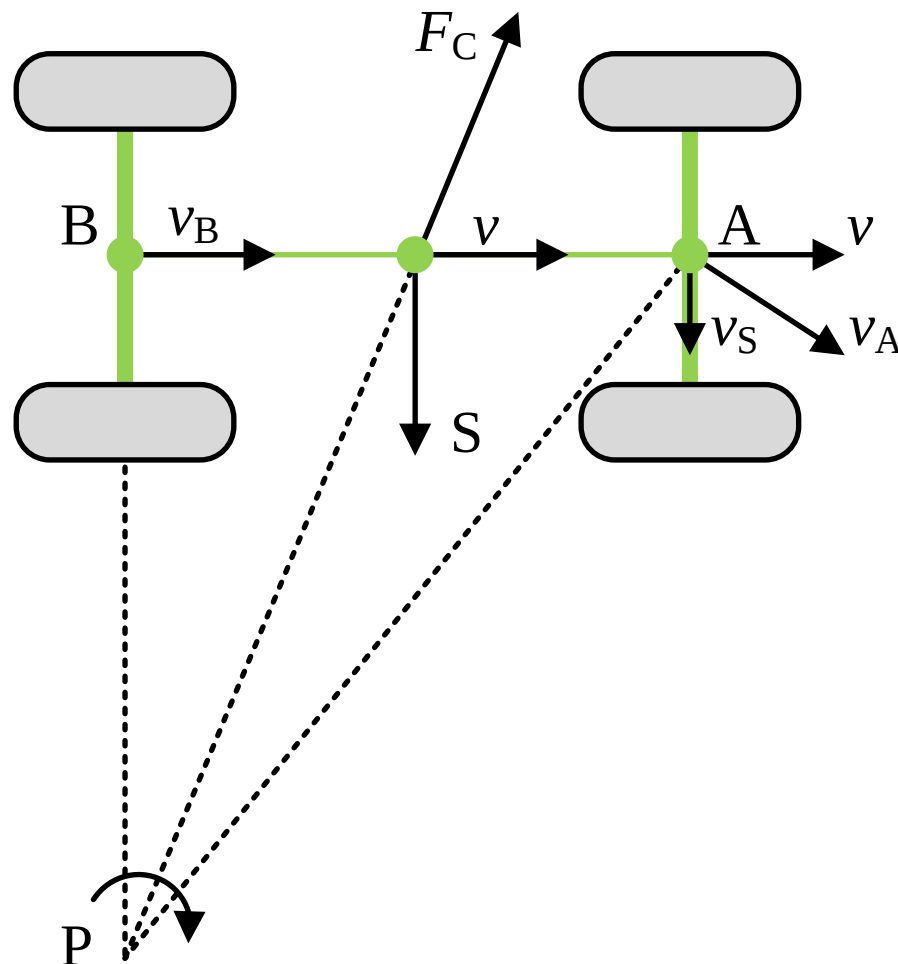
■ - aktivne zona djelovanja ABS sistema

UTICAJ BLOKIRANJE TOČKOVA PRILIKOM KOČENJA NA UPRAVLJIVOST I STABILNOST VOZILA

Blokirani prednji točkovi vozila

- Vozilo se kreće pravolinijski brzinom v . Pod dejstvom poremećajne sile S , tačka A će dobiti komponentu brzine klizanja v_s u pravcu dejstva poremećajne sile pa će sada rezultujuća brzina tačke A biti v_A
- Vozilo se pod dejstvom bočne poremećajne sile S počinje kretati krivolinijski, a mjesto trenutnog centra obrtanja je u tački P .
- Kao posljedica krivolinijskog kretanja pojaviće se centrifugalna sila (F_C). Komponenta centrifugalne sile normalna na podužnu osu vozila usmjerena suprotno od dejstva poremećajne sile i ona teži da spontano prekine zanošenje prednje osovine
- Osnovni problem u ovom slučaju je, da pošto su prednji točkovi blokirani, vozilo gubi **upravljivost**.

UTICAJ BLOKIRANJE TOČKOVA PRILIKOM KOČENJA NA UPRAVLJIVOST I STABILNOST VOZILA



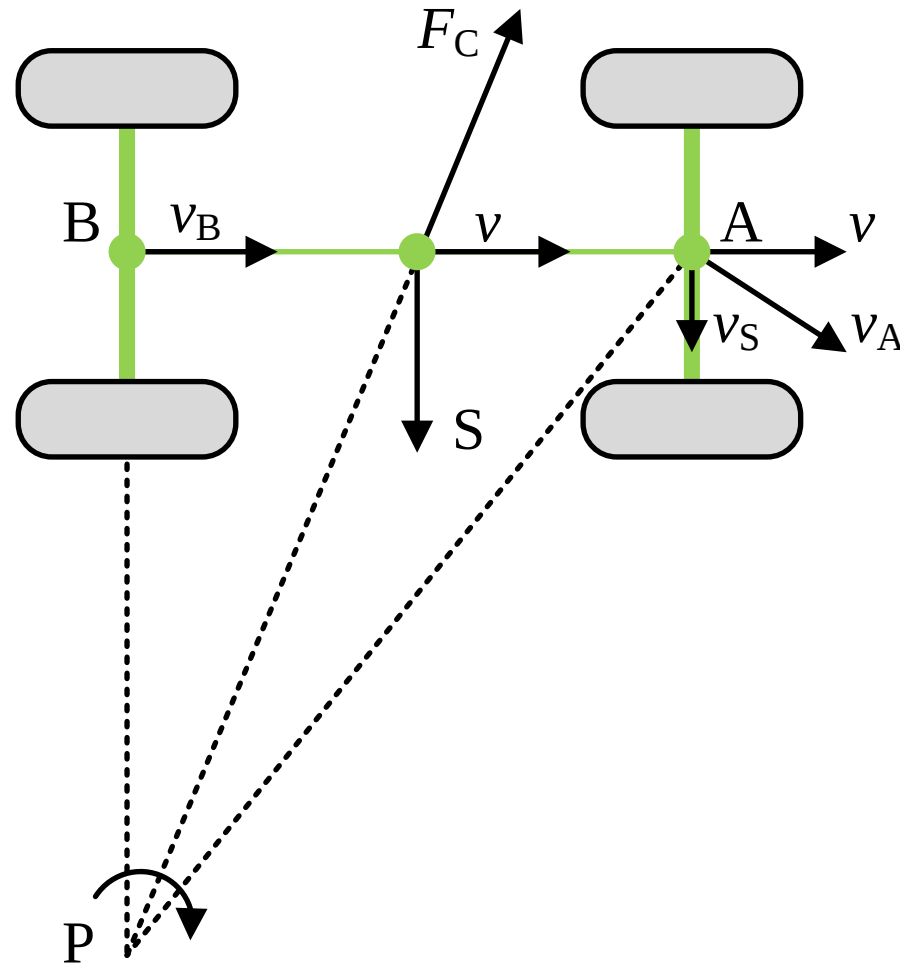
Blokirani prednji točkovi vozila

UTICAJ BLOKIRANJE TOČKOVA PRILIKOM KOČENJA NA UPRAVLJIVOST I STABILNOST VOZILA

Blokirani zadnji točkovi vozila

- Vozilo se kreće pravolinijski brzinom v . Pod dejstvom poremećajne sile S , tačka B dobija komponentu brzine klizanja v_S u pravcu poremećajne sile, pa je apsolutna brzina račke B sada v_B , a trenutni centar obrtanja je u tački P .
- Bočna komponenta centrifugalne sile F_C djeluje u istom smjeru kao i poremećajna sile S pa se klizanje progresivno povećava, što dovodi do zanošenja zadnje osovine i **gubitka stabilnosti** vozila
- Na osnovu ove kratke analize, jasno je, da je zanošenje zadnje osovine daleko opasnije od zanošenja prednje osovine
- ABS sistem treba da spriječi gubitak stabilnosti i upravljivosti vozila

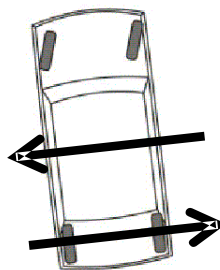
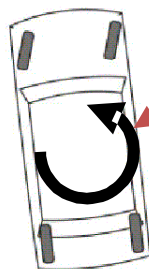
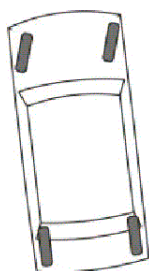
UTICAJ BLOKIRANJE TOČKOVA PRILIKOM KOČENJA NA UPRAVLJIVOST I STABILNOST VOZILA



Blokirani prednji točkovi vozila

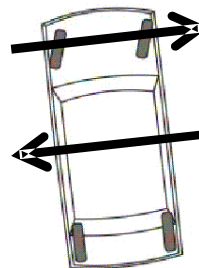
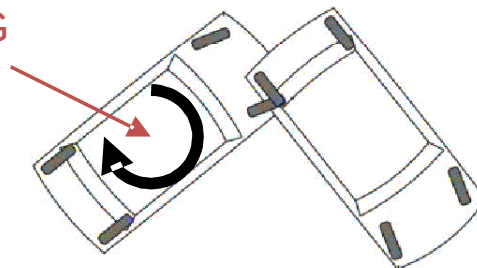
UTICAJ BLOKIRANJE TOČKOVA PRILIKOM KOČENJA NA UPRAVLJIVOST I STABILNOST VOZILA

Blokiranje prednjih
točkova $\Rightarrow$ **GUBITAK
UPRAVLJIVOSTI**



SPREG

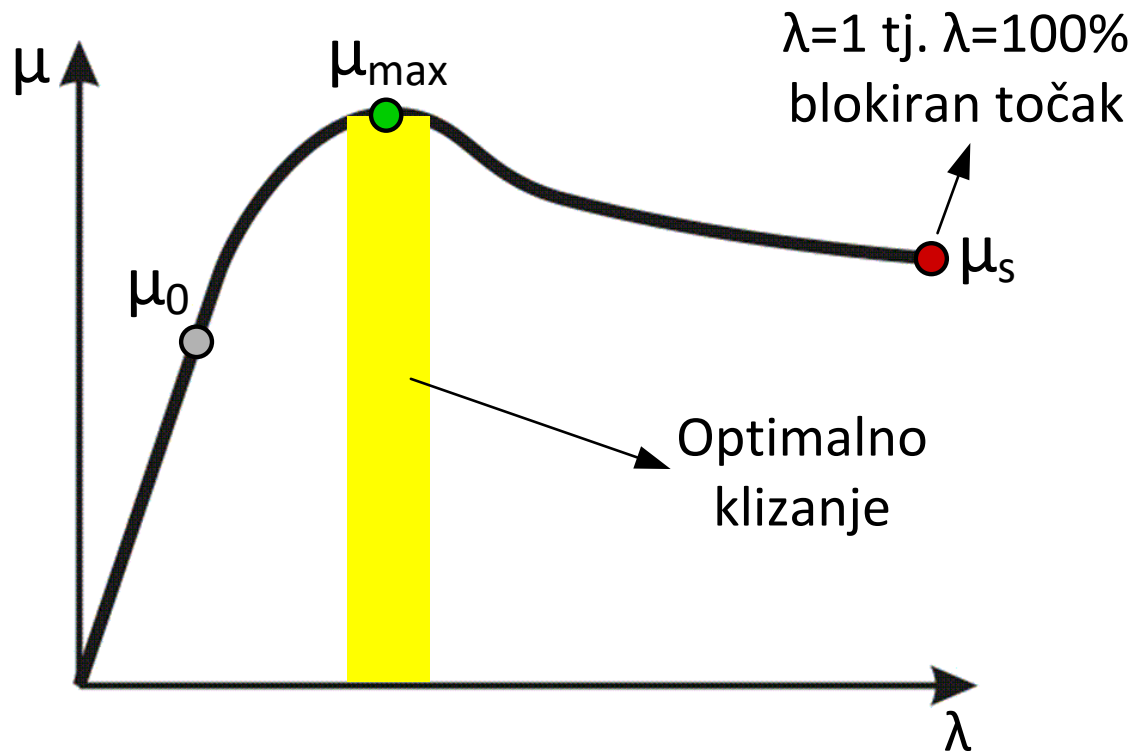
Blokiranje zadnjih
točkova $\Rightarrow$ **GUBITAK
STABILNOSTI**



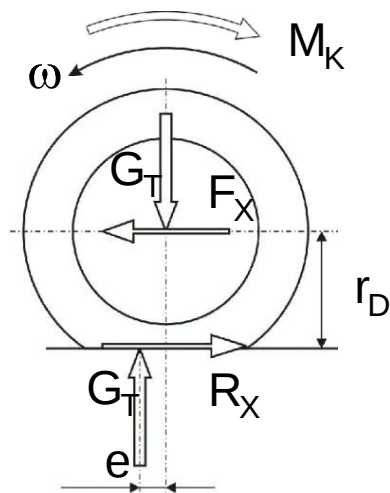
OSNOVNE KARAKTERISTIKE ABS SISTEMA

Princip rada:

- Zadatak: Održavanje klizanja točka u optimalnim granicama
- ABS system treba bi da djeluje u okolini tačke maksimalog prijanjanja $\mu_{\max}$ jer je tada kočenje optimalno



OSNOVNE KARAKTERISTIKE ABS SISTEMA



$$R_X = \frac{M_K}{r_D} - \frac{J_c |\dot{\omega}|}{r_D} + \frac{e}{r_D} \cdot G_T$$

$$\mu_X = \frac{R_X}{G_T}$$

- Kočni moment M_K je proporcionalan pritisku p_K u radnom organu - cilindru kočnice
- Putem modulacije pritiska p_K vrši se upravljanje momentom M_K radi ostvarivanja optimalnog s odnosno R_X
- Modulacija pritiska p_K kod ABS Sistema je u sadejstvu sa komandom vozača na pedalu kočnice
- Za modulaciju p_K neophodna pumpa, elektrohidraulični ventili

ABS – UPRAVLJAČKA PETLJA

Objekat upravljanja:

- Vozilo i njegove kočnice
- Prijanjanje između točkova i podloge

Vanjski poremećaji upravljačke petlje:

- Promjene prijanjanja između pneumatika i gazne površine puta (suv ili mokar kolovoz, poledica, betonska ili asfaltna gazna površina, vožnja u krivinama i sl.)
- Nepravilnosti u gaznoj površini puta koje izazivaju vibracije točkova i vješanja automobile
- Nejednakost obima pnematika (nizak pritisak u gumama, istrošeni gazni sloj I sl.)
- Histerezis kočnica
- Razlike u pritisku između dva kočna kruga

ABS – UPRAVLJAČKA PETLJA

Komponente kontrolera:

- Senzori brzine obrtanja točkova
- ABS upravljačka jedinica

Upravljanje promjenljive:

- Brzina točkova
- Ubrzanje točkova i klizanje λ

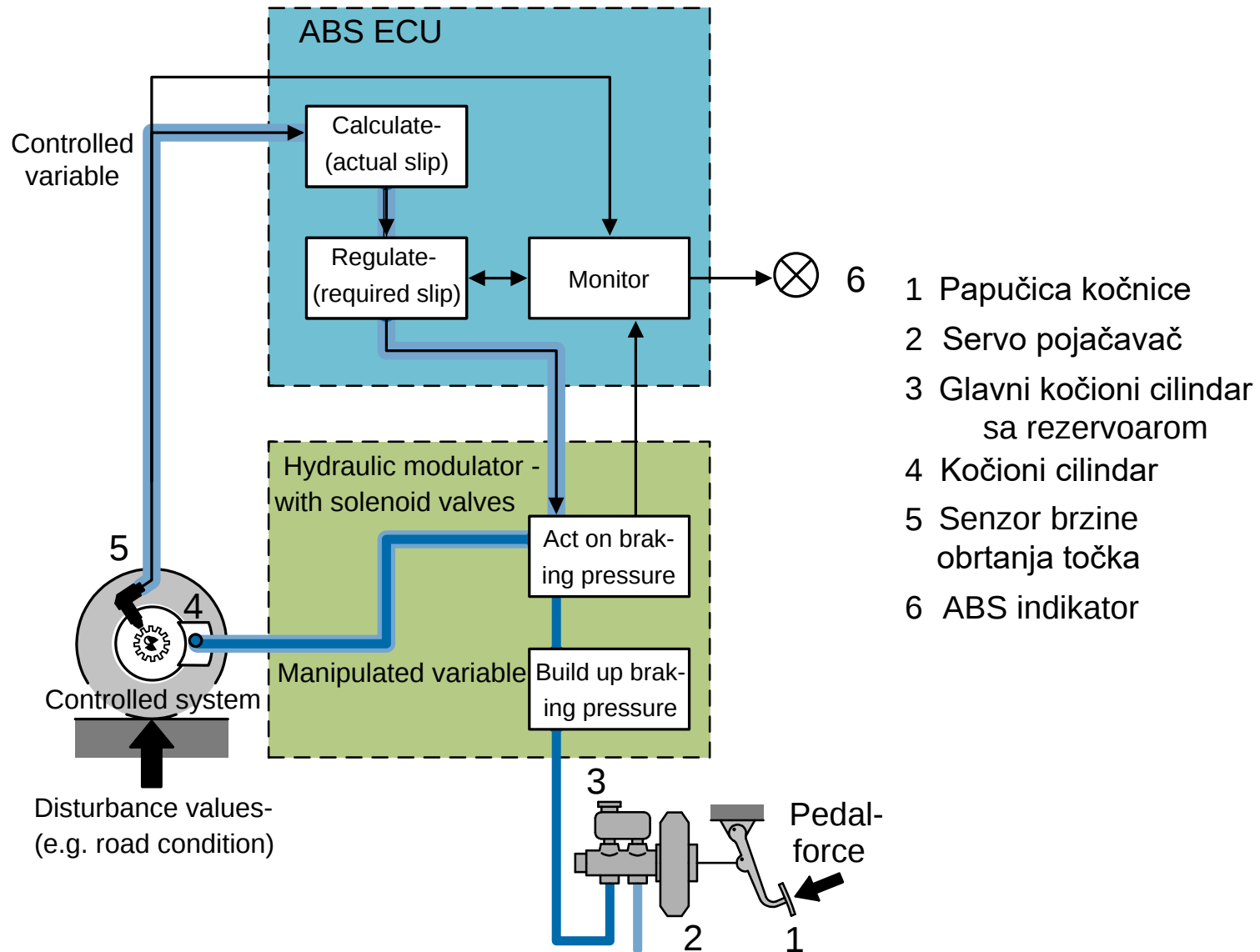
Zadana veličina:

- Pritisak stopala kojim vozač pritišće papučicu kočnice pojačan servo pojačavačem stvara zadani pritisak u kočionom sistemu

Upravljačko dejstvo (promjenljiva):

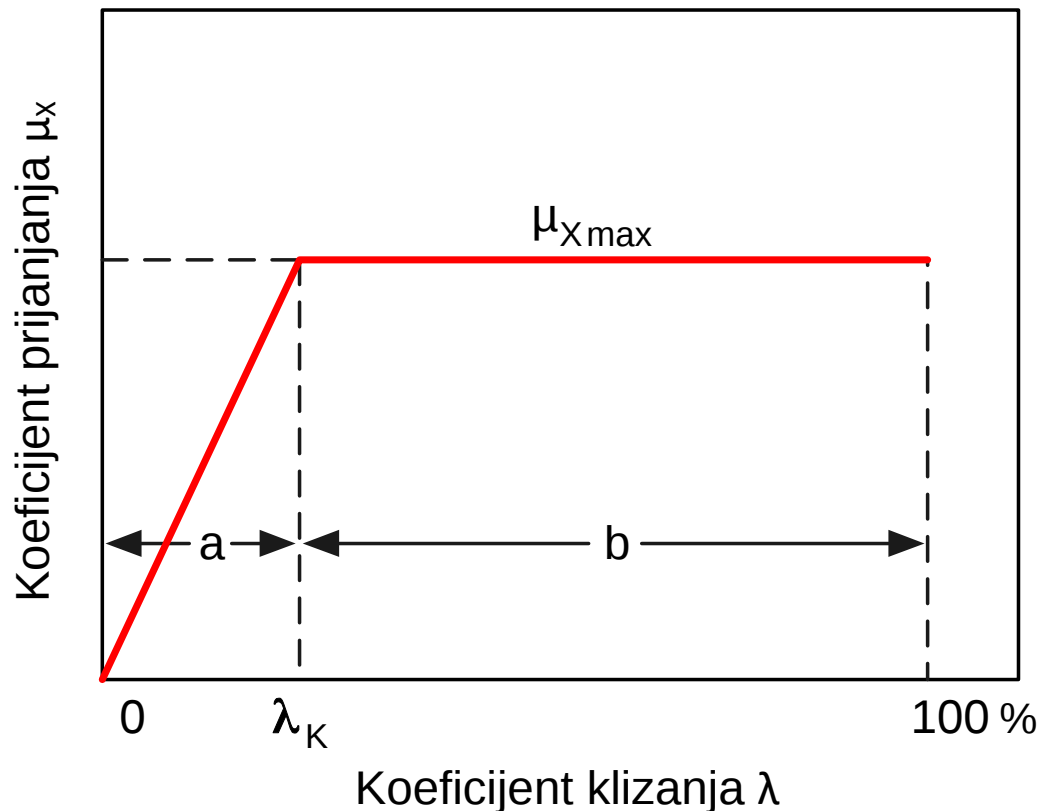
- Kočioni pritisak u kočionom cilindru

ABS – UPRAVLJAČKA PETLJA



ABS UPRAVLJAČKA JEDINICA

- Rad upravljačke jedinice ABS sistema bazira se na idealnoj μ - λ krivoj
- Kriva je podjeljena na dvije oblasti, stabilnu oblast (a) s linearnim porastom koeficijenta prijanjanja μ_X i nestabilnu oblast gde je njegova vrijednost najveća μ_{Xmax} i konstantna



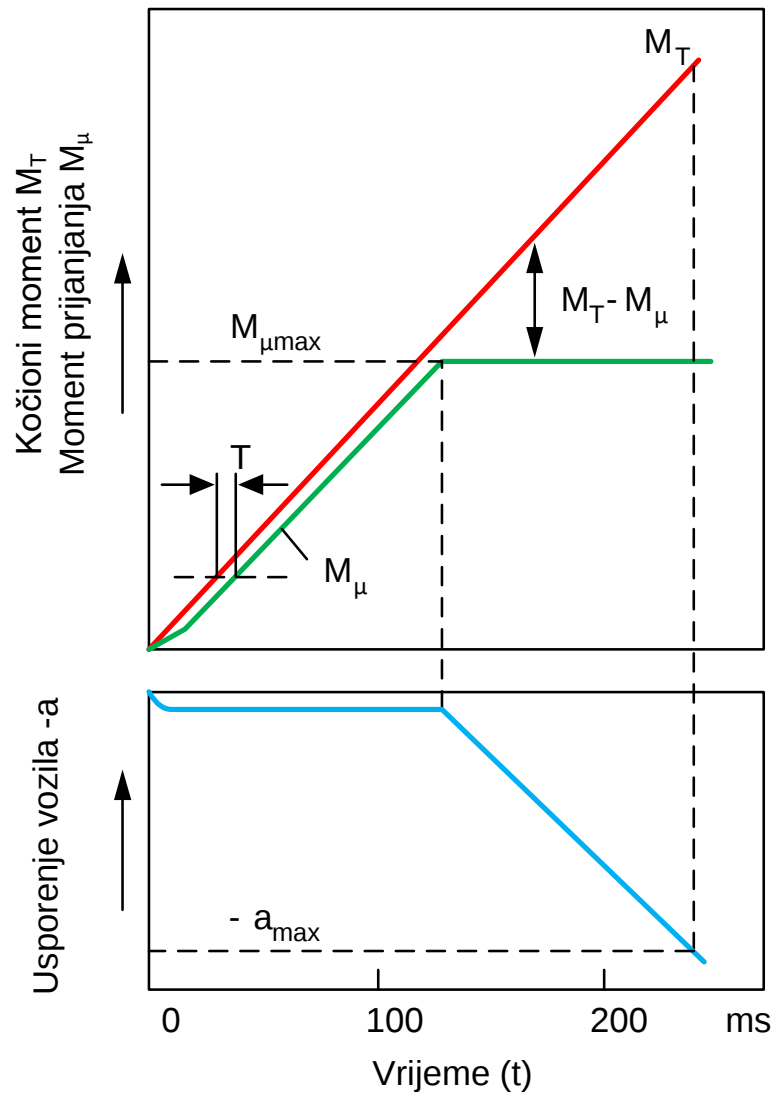
a Stabilna oblast

b Nestabilna oblast

λ_K Optimalna
vrijednost klizanja

μ_{Xmax} Maksimalna vrijednost
koeficijenta prijanjanja

ABS UPRAVLJAČKA JEDINICA



(-a) Usporenje vozila

(-a_{max}) Maksimalno usporenje vozila

M_T Kočni moment

M_μ Moment prijanjanja (pneumatik – gazni sloj)

M_{Rmax} Maksimalna vrijednost momenta prijanjanja (pneumatik – gazni sloj)

T Vremensko kašnjenje

odnos između kočionog momenta M_T i momenta prijanjanja M_μ (trenje na gaznoj površini kolovoza)

ABS UPRAVLJAČKA JEDINICA

- Moment prijanjanja M_{μ} u stabilnoj oblasti zaostaje za kočionim momentom M_T za vrijeme T
- Nakon 130 ms dostiže se maksimalna vrijednost momenta prijanjanja M_{μ} (koeficijent $\mu_{X_{\max}}$), a samim tim ulazak u nestabilnu oblast μ - λ krive
- Od tog trenutka na osnovu izgleda idealne μ - λ krive, može se zaključiti da i pored toga što kočioni moment M_T nesmetano raste, momenta prijanjanja M_{μ} ostaje nepromjenljiv (konstantan)
- U periodu između 130 i 240 ms (točak blokiran) razlika između kočionog momenta M_T i momenta prijanjanja M_{μ} postaje sve veća.
- Razlika između ovih momenata predstavlja preciznu mjeru usporenja (-a) kočenog točka

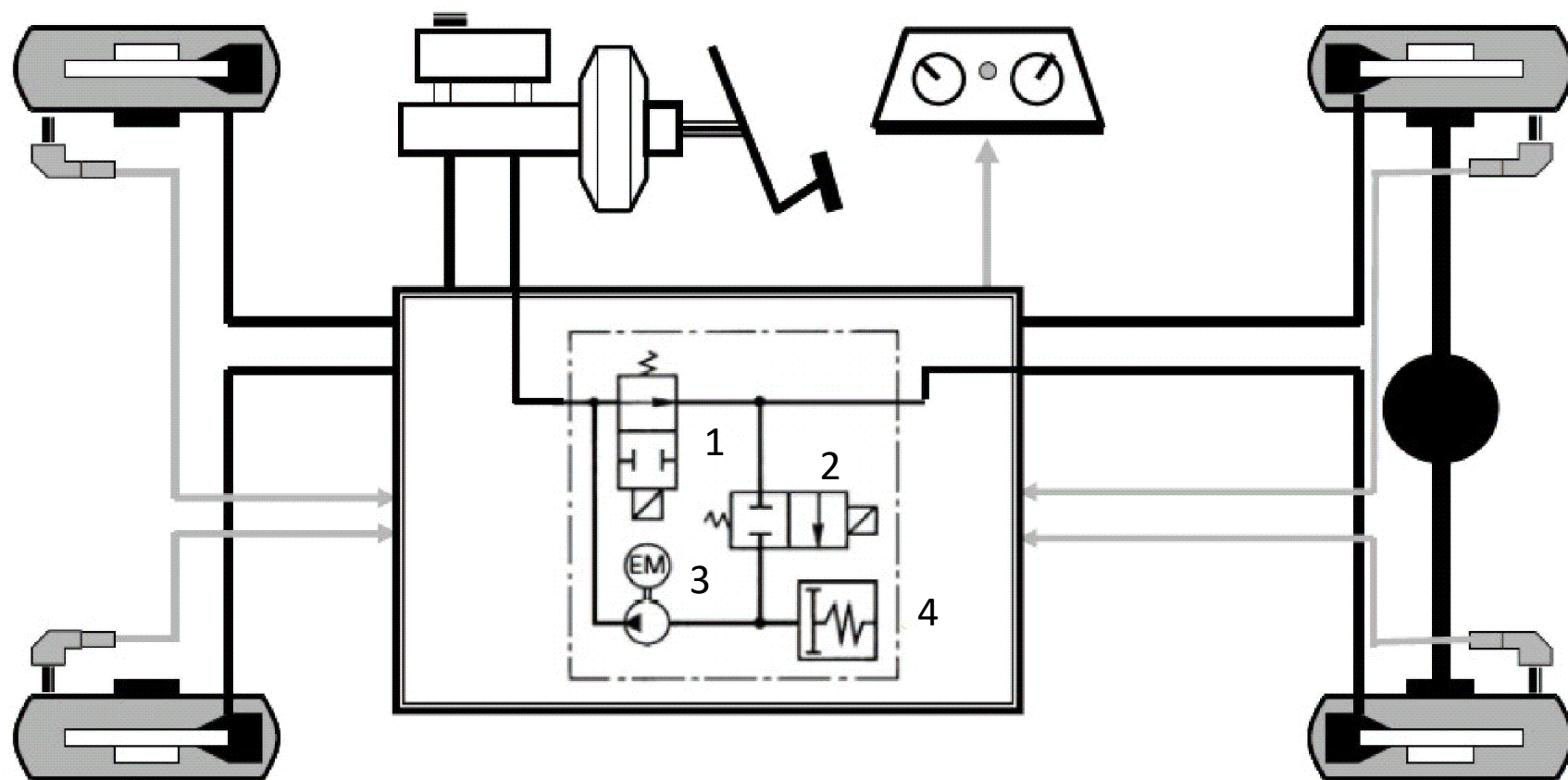
ABS UPRAVLJAČKA JEDINICA

- U stabilnoj oblasti usporenje točka je konstantno i ima malu vrijednost, dok se u nestabilnoj oblasti usporenje naglo mijenja, težeći da dostigne svoju maksimalnu vrijednost ($-a_{\max}$)
- Rad ABS upravljačke jedinice zasniva se na detekciji graničnih vrijednosti parametara prijanja $\mu_{X_{\max}}$ odnosno klizanja λ_K na μ - λ krivoj i generisanje odgovarajućih upravljačkih dejstava

ABS - UPRAVLJAČKE PROMJENLJIVE

- Bitan faktor koji utiče na efikasnosti ABS sistema je izbor upravljačkih promjenljivih
- Osnova za izbor su mjerni signali senzora brzine obrtanja točkova iz kojih ECU jedinica izračunava usporavanje/ubrzanje kotača, klizanje λ , referentnu brzinu i usporavanje vozila
- Usporavanje / ubrzanje točkova kao i klizanje λ , sami po sebi, nisu pogodni da budu upravljačke promjenljive, jer se pri kočenju točak potpuno drugačije ponaša od točka u pogonu
- Međutim, kombinovanjem ovih promjenljivih uz pravljenje odgovarajućih logičkih odnosa mogu se dobiti dobri rezultati rada ABS sistema

ABS – MODULACIJA PRITISKA



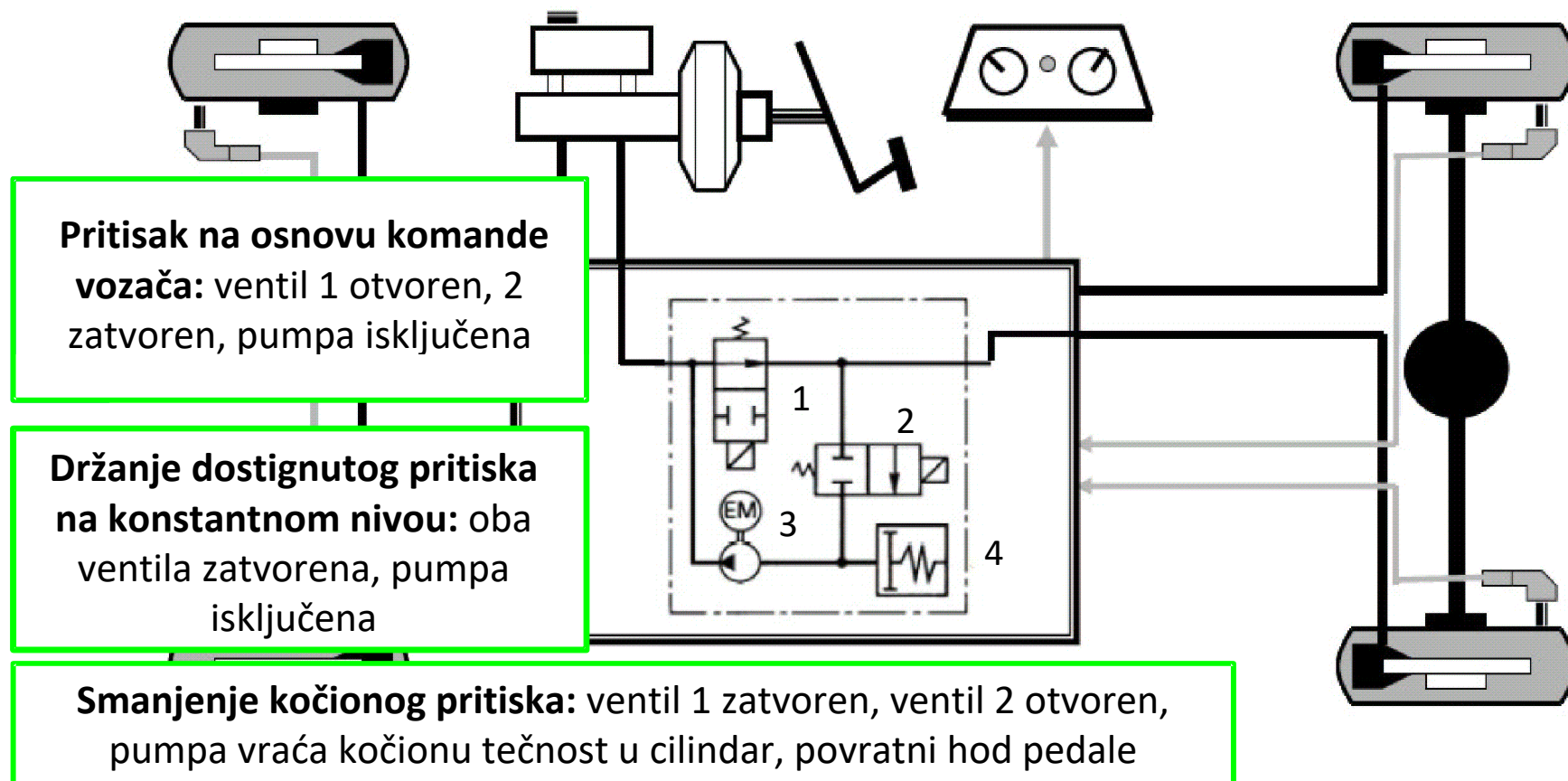
1 -ulazni ventil

2 -izlazni ventil

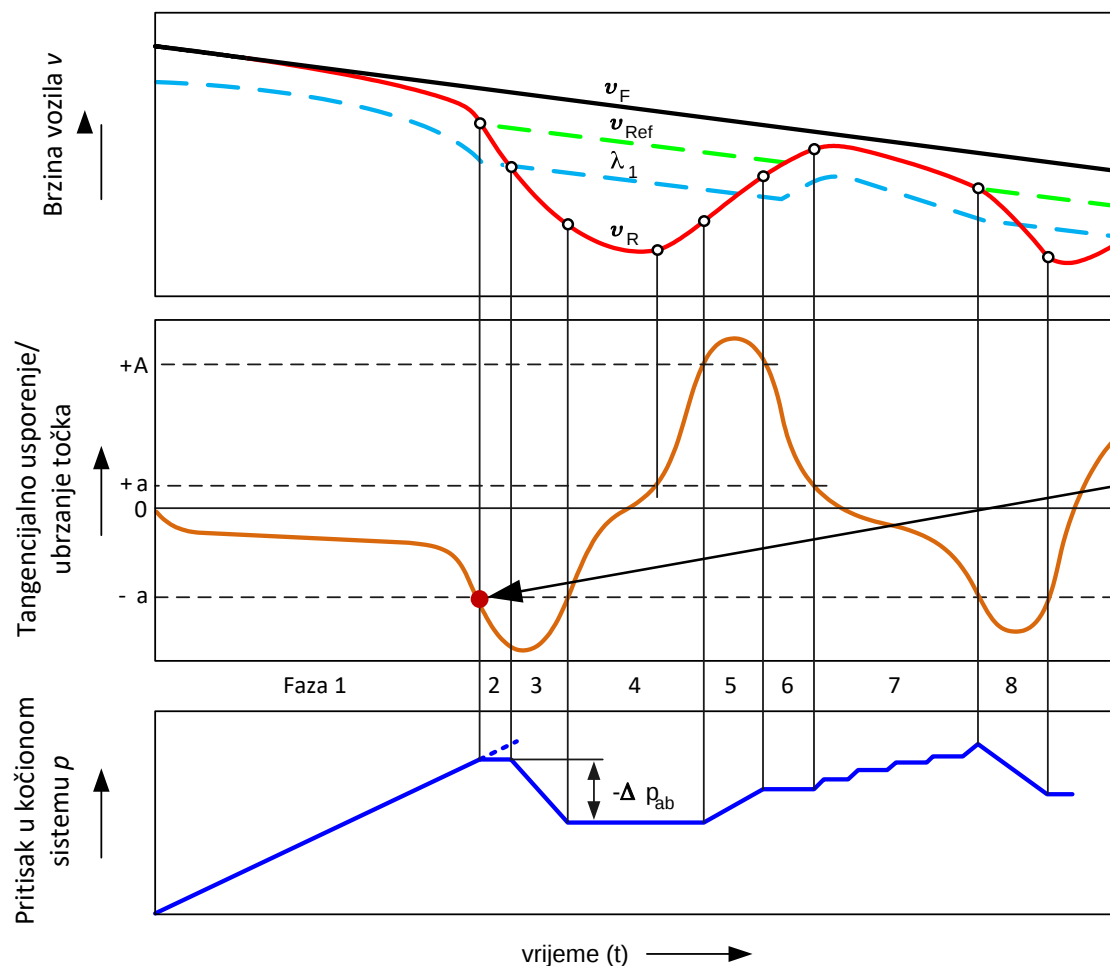
3 -povratna pumpa

4 -rezervoar kočione tečnosti

ABS – MODULACIJA PRITISKA



ABS – RADNI CIKLUS NA PODLOZI SA DOBRIM PRIJANJANJEM



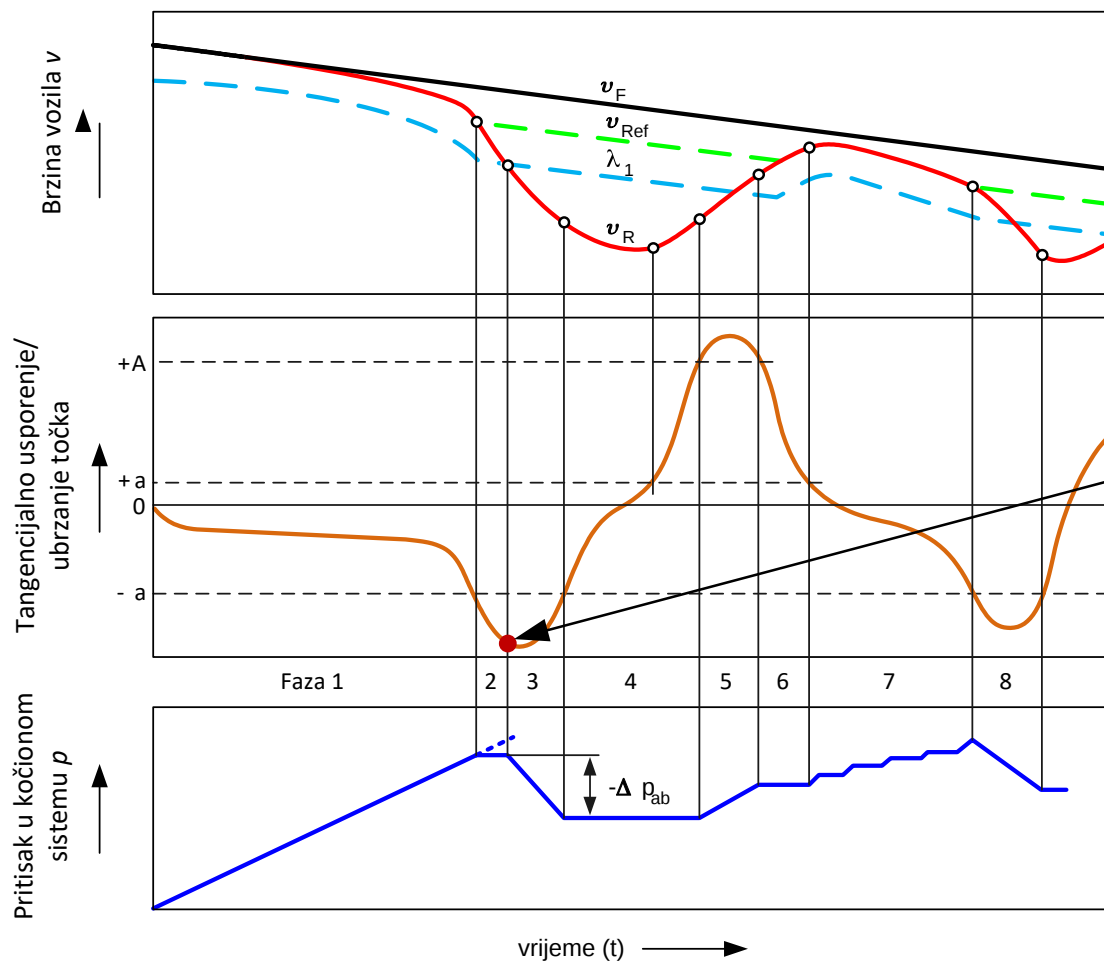
$t=t_1$:

Ugaono usporenje točka dostiže prvu kritičnu vrijednost

ECU jedinica prepoznaje stanje: $a_T < -a$

Reakcija ABS sistema:
Počinje zadržavanje pritiska, izračunavanje v_{Ref}
(signal senzora točka više nije mjerodavan jer je ABS sistem stupio u dejstvo)

ABS – RADNI CIKLUS NA PODLOZI SA DOBRIM PRIJANJANJEM



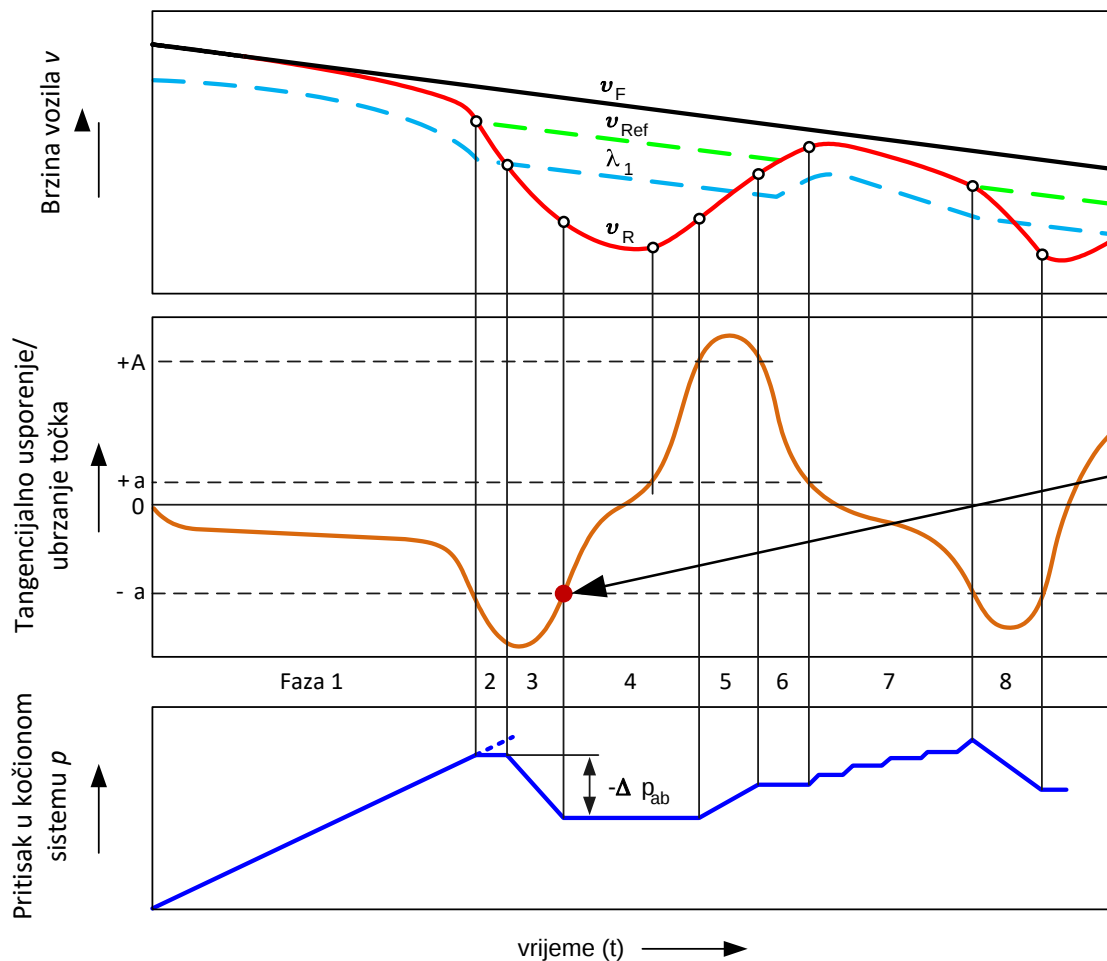
$t=t_2$:

Obodna brzina točka
pada ispod nominalne
vrijednosti klizanja λ_1

ECU jedinica prepoznaje
stanje: $v_T < \lambda_1$

Reakcija ABS sistema:
Počinje smanjenje
kočionog pritiska pod
dejavom povratne pumpe

ABS – RADNI CIKLUS NA PODLOZI SA DOBRIM PRIJANJANJEM



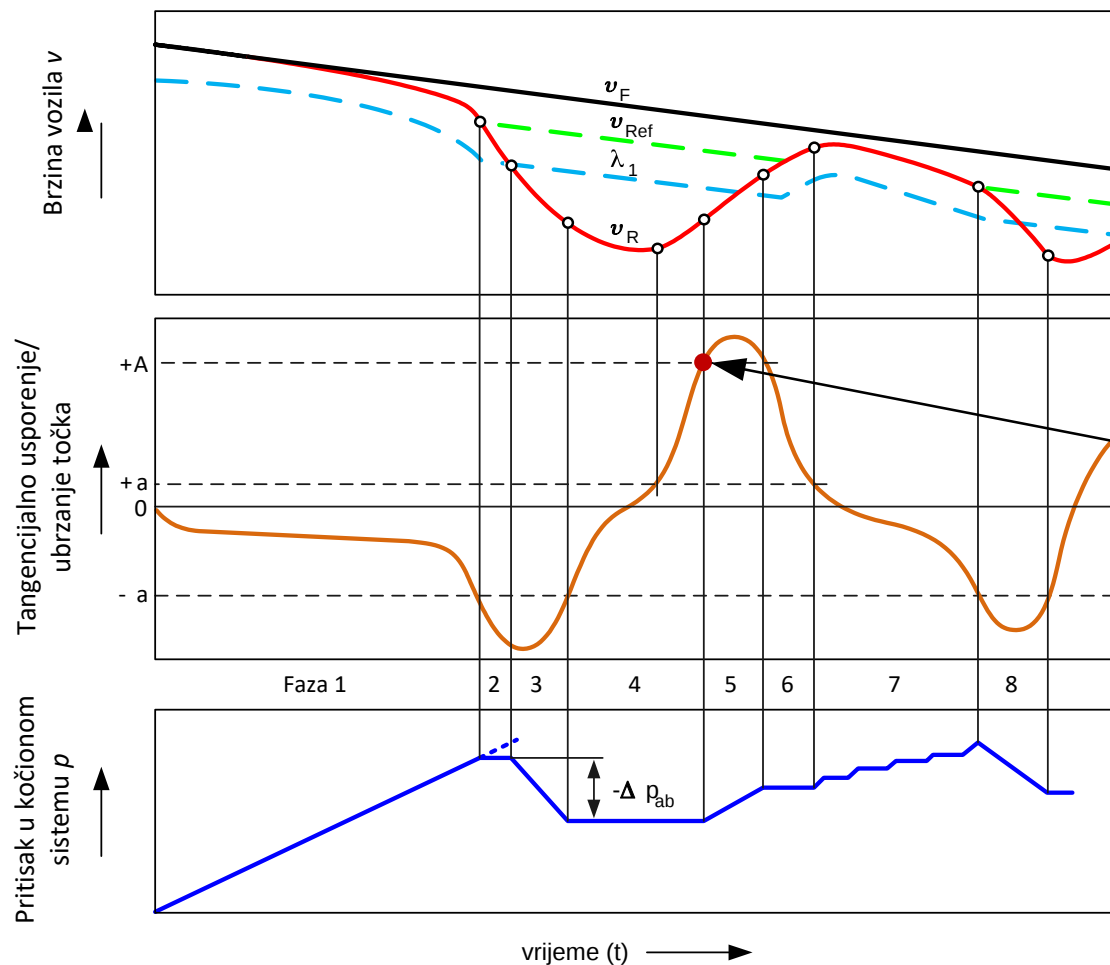
$t=t_3$:

Ugaono usporenje točka se vraća na novu referentnu vrijednost

ECU jedinica prepoznaje stanje: $a_T < -a$

Reakcija ABS sistema:
Počinje zadržavanje
kočionog pritiska

ABS – RADNI CIKLUS NA PODLOZI SA DOBRIM PRIJANJANJEM



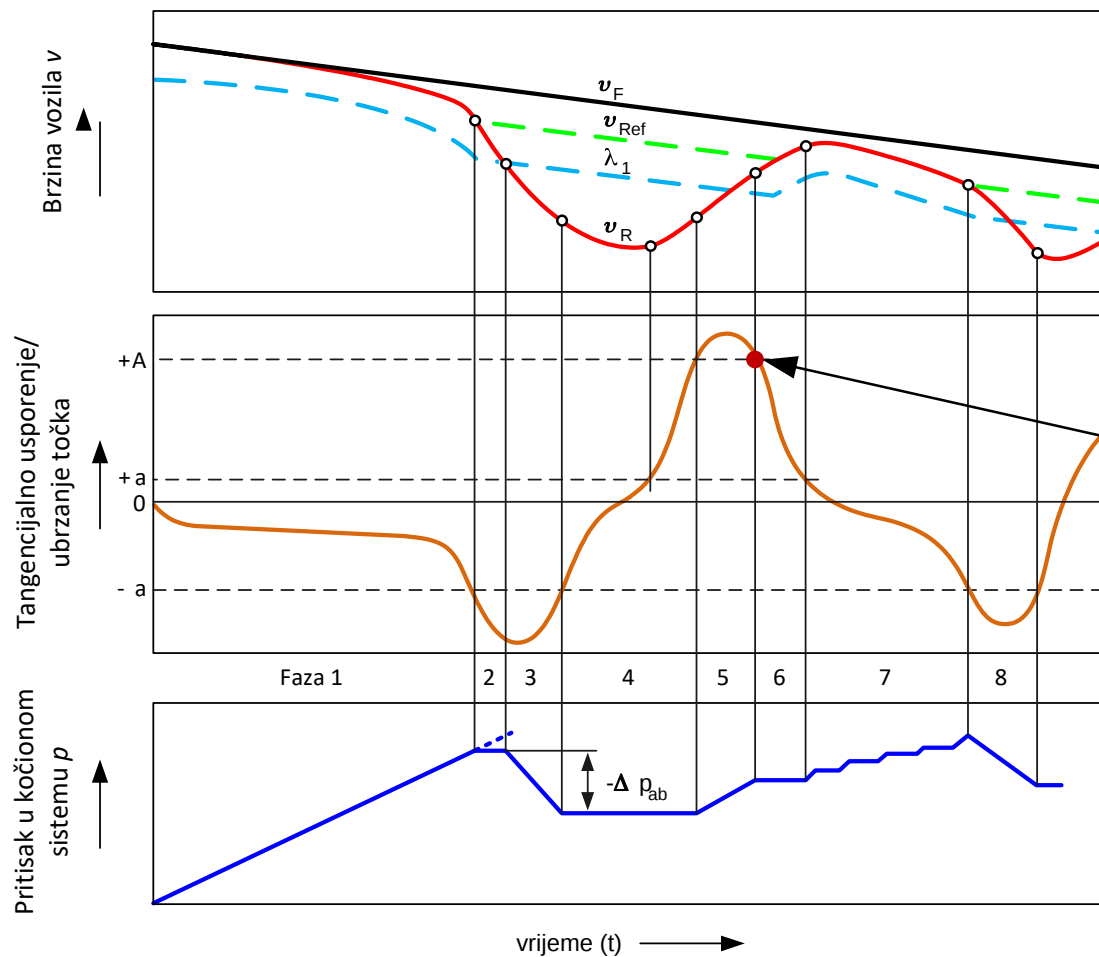
$t=t_4$:

Ugaono ubrzanje točka dostiže drugu referentnu vrijednost

ECU jedinica prepoznaje stanje: $a_T > +A$

Reakcija ABS sistema:
Koćioni pritisak se povećava preko komande vozaća

ABS – RADNI CIKLUS NA PODLOZI SA DOBRIM PRIJANJANJEM



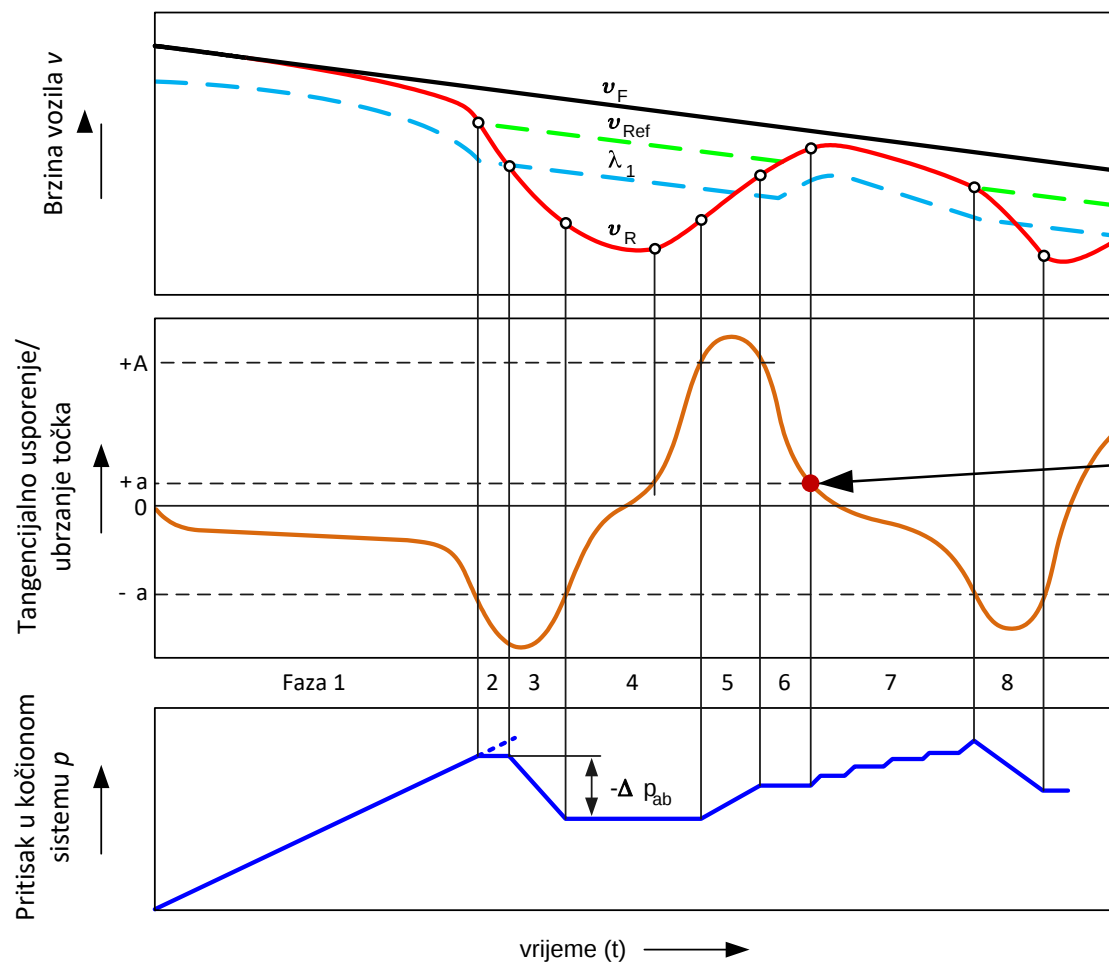
$t=t_5$:

Ugaono ubrzanje točka pada ispod druge zadane vrijednosti, povratak u stabilno područje $\mu - \lambda$ krive

ECU jedinica prepoznaje stanje: $a_T < +A$

Reakcija ABS sistema:
Počinje zadržavanje kočionog pritiska

ABS – RADNI CIKLUS NA PODLOZI SA DOBRIM PRIJANJANJEM



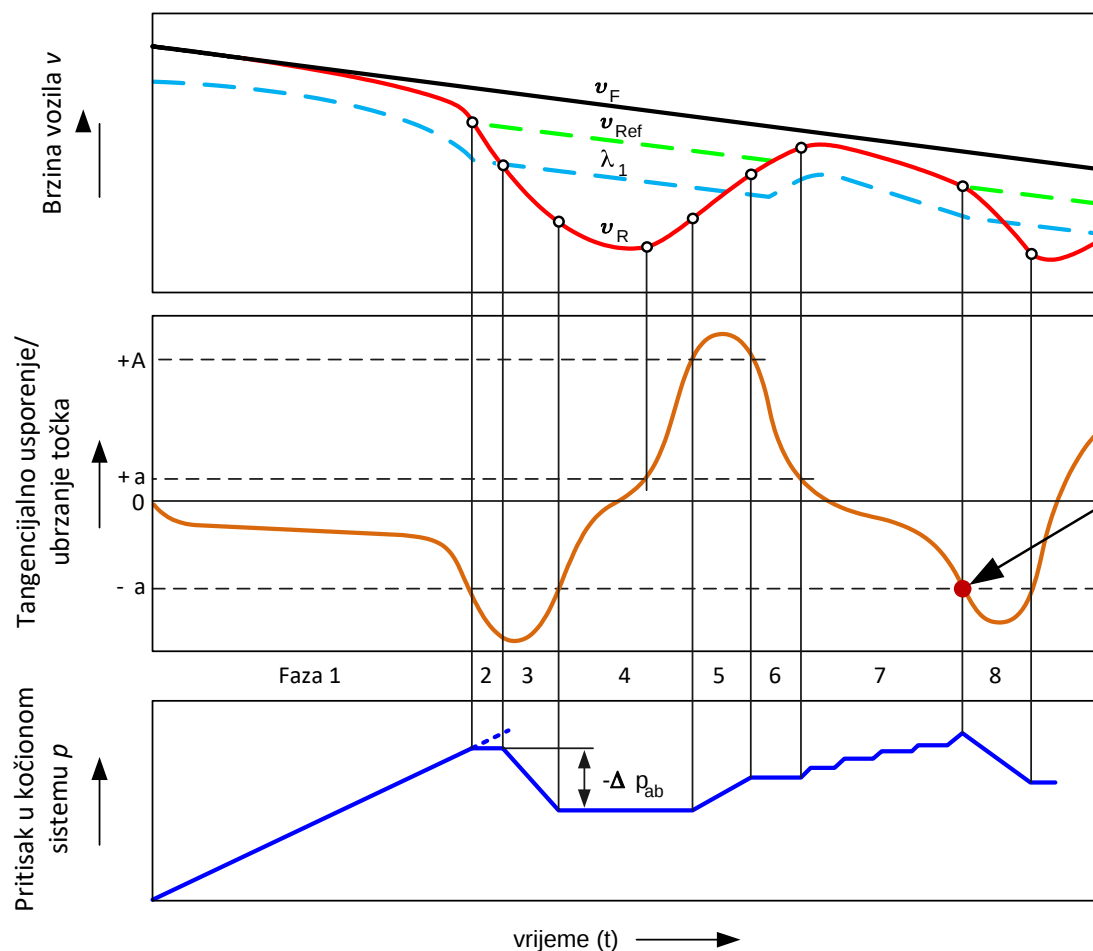
$t=t_6$:

Ugaono ubrzanje točka pada ispod treće zadane vrijednosti

ECU jedinica prepoznaje stanje: $a_T > +a$

Reakcija ABS sistema:
Postepeno povećanje pritiska, ponovno praćenje kretanja vozila preko signala senzora umjesto v_{Ref} (točak u režimu normalnog kotrljanja)

ABS – RADNI CIKLUS NA PODLOZI SA DOBRIM PRIJANJANJEM



$t=t_7$:

Ugaono ubrzanje točka ponovo pada ispod prve zadane vrijednosti

ECU jedinica prepoznaje stanje: $a_T < -a$

Reakcija ABS sistema:
Odmah počinje smanjenje Kočionog pritiska, bez zadržavanja i bez izračunavanja vrijednosti λ_1