

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Аутомобилско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Предмет: Електрични и електронски системи на МВ

Број индекса: 425/2017

Владаца С. Живковић

**Електронски системи управљања
кочним системом возила**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Драган Тарановић, ванр. проф. - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да опише и анализира:

- Разлоге за увођење електронских система за управљање кочним системом возила.
- Утицај кочног система на блокирање точкова, проклизавање, стабилност возила...
- Алгоритме за електронско управљање кочним системом возила.
- Функционисање и конструкцију давача и актуатора у кочном систему са електронским управљањем.
- Методе провере кочних перформанси возила са електронски системима управљања кочним системом возила на ваљцима и у возњи.
- Закључна разматрања.

Препоручена литература:

- [1] Kost F., Koch-Dücker H.J., Niewels F., Schuh J., Ehret T., Wagner J., Papert U., Heinen F., Eberspächer P., *Driving Stability Systems*, Robert Bosch GmbH, 2005.
- [2] Fijalkowski B.T., *Automotive Mechatronics: Operational and Practical Issues*, Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 2011.
- [3] Reif K., *Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems*, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
- [4] Robert Bosch GmbH, *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics*, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2007.
- [5] Robert Bosch GmbH, *Electronic Automotive Handbook*, Robert Bosch GmbH, Немачка, 2002.
- [6] Barton D., Earle S., *Brakes 2000: Automotive Braking – Technologies for the 21st Century*, Professional Engineering Publishing Limited, Bury St Edmunds and London, UK, 2000.
- [7] Kiencke U., Nielsen L., *Automotive Control Systems*, Springer Berlin Heidelberg New York, 2005.
- [8] Savaresi S.M., Tanelli M., *Active Braking Control Systems Design for Vehicles*, Springer London Dordrecht Heidelberg New York, 2010.
- [9] Hillier V.A.W., Combes P., *Hillier's Fundamentals of Motor Vehicle Technology: Book 1*, Nelson Thornes Ltd, UK, 2004.

Крагујевац, 17.05.2019.

Ментор:

Драган Тарановић, ванр. проф.

САДРЖАЈ

1. РАЗЛОЗИ ЗА УВОЂЕЊЕ ЕЛЕКТРОНСКИХ СИСТЕМА ЗА УПРАВЉАЊЕ КОЧНИМ СИСТЕМОМ ВОЗИЛА	2
2. УТИЦАЈ КОЧНОГ СИСТЕМА НА БЛОКИРАЊЕ ТОЧКОВА, ПРОКЛИЗАВАЊЕ, СТАБИЛНОСТ ВОЗИЛА	12
2.1 ABS, приањање и клизање	12
2.2 Стабилност	15
2.3 Дејство ABS-а када један део возила иде по леду	18
3. АЛГОРИТМИ ЗА ЕЛЕКТРОНСКО УПРАВЉАЊЕ КОЧНИМ СИСТЕМОМ ВОЗИЛА	20
3.1 Нагло кочење у условима високог приањања	20
3.2 Нагло кочење у условима ниског приањања	25
4. ФУНКЦИОНИСАЊЕ И КОНСТРУКЦИЈА ДАВАЧА И АКТУАТОРА У КОЧНОМ СИСТЕМУ СА ЕЛЕКТРОНСКИМ УПРАВЉАЊЕМ	26
4.1 Давачи	26
4.1.1 Давач броја обртаја	26
4.1.2 Давач притиска	31
4.2 Актуатори	32
4.2.1 Главни кочни цилиндар	32
4.2.2 Хидраулички модулатор	33
4.3 Електронска управљачка јединица	36
5. МЕТОДЕ ПРОВЕРЕ КОЧНИХ ПЕРФОРМАНСИ ВОЗИЛА СА ЕЛЕКТРОНСКИ СИСТЕМАМА УПРАВЉАЊА КОЧНИМ СИСТЕМОМ ВОЗИЛА НА ВАЉЦИМА И У ВОЖЊИ	37
5.1 Испитивање на ваљцима	37
5.2 Испитивање у вожњи	38
6. ЗАКЉУЧАК	49
7. ЛИТЕРАТУРА	50

ABSTRACT

The subject of the study of this master thesis is the electronic control system which acts in case of emergency braking of the vehicle. Starting from the analysis of the braking process itself, along with consideration of the effects of antilock braking system usage, as well as its components, an insight in its contribution to improved functioning of the vehicle is given. The thesis is structured in five parts. The first section focuses on the reasons for including the antilock braking system in the vehicle. The second section is devoted to the consideration of the effects that the braking system poses on locking and slipping of the wheels, and on the stability of the vehicle. The third section describes the control algorithms for the electronic control of the vehicle's braking system during emergency braking, both in high and low adhesion conditions. The following section deals with the functioning and construction of sensors and actuators in an electronically controlled antilock braking system. In the last section an overview of the methods that are used to test vehicle's braking performance is presented, as well as results of the road test performed by the author of the thesis.

Keywords: braking, locking, antilocking, adhesion, slipping, pressure

РЕЗИМЕ

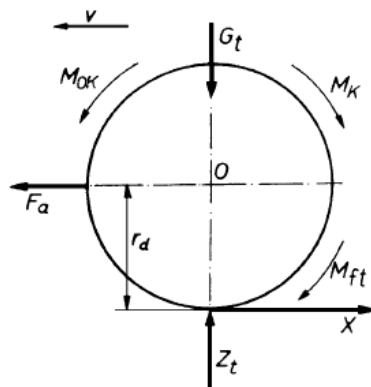
Предмет истраживања овог мастер рада јесте електронски систем управљања кочним системом возила у условима наглог кочења. Полазећи од анализе самог процеса кочења, преко разматрања утицаја примене противблокирајућег система кочења, као и његових компоненти, дат је увид у његов допринос побољшаном функционисању возила. Рад је структуриран у пет делова. У првом делу фокус је на разлозима за увођење противблокирајућег кочног система возила. Други део је посвећен разматрању утицаја кочног система на блокирање точкова, проклизавање и стабилност возила. Трећи део даје опис контролних алгоритама за електронско управљање кочним системом возила при наглом кочењу, како у условима високог, тако и ниског приањања. Наредни део се односи на функционисање и конструкцију давача и актуатора у електронски управљаном противблокирајућем кочном систему. У последњем делу приказан је преглед метода које служе за проверу кочних перформанси возила, као и резултати испитивања које је аутор рада извео.

Кључне речи: кочење, блокирање, противблокирајући, приањање, клизање, притисак

1. РАЗЛОЗИ ЗА УВОЂЕЊЕ ЕЛЕКТРОНСКИХ СИСТЕМА ЗА УПРАВЉАЊЕ КОЧНИМ СИСТЕМОМ ВОЗИЛА

Кочење се остварује довођењем момента који делује у супротном смеру од обртања точка. У контактної тачки точка и подлоге долази до развоја тангенцијалне реакције тла, која има смер супротан од смера кретања возила. Поменута тангенцијална реакција служи за уравнотежење силе инерције. Момент који доводи до кочења се доводи кочним цилиндром, који је постављен уз сами точак.

Слика 1.1 даје приказ сила и момената који делују на кочени точак.



Слика 1.1 Силе и моменти које делују на кочени точак [1]

Ознаке на слици 1.1 имају следећа значења:

- $G_t = g m_t$ – нормално оптерећење точка изазвано масом m_t ,
- F_a – инерциона сила,
- r_d – динамички полупречник точка,
- $M_{ок}$ – погонски момент који делује у току кочења,
- M_k – момент који остварује кочница, и
- M_{ft} – момент отпора котрљању точка.

У току кочења при кретању на равной подлози погонски момент делује на точак само у случају уколико се оно обавља без искључења спојнице. Вредност овог момента се може представити следећом релацијом:

$$M_{ок} = M_e i_u + J \frac{d\omega}{dt} \quad (1.1)$$

где су:

- M_e – ефективни момент мотора,
- i_u – укупни преносни однос,
- J – момент инерције обртних делова (сведен на точак), и
- ω – угаона брзина точка.

Посматрајући **слику 1.1**, могуће је поставити моментну једначину равнотеже коченог точка:

$$X_k r_d + M_{ok} - M_{ft} - M_k = 0 \quad (1.2)$$

Из претходне једначине се тангенцијална реактивна сила изражава као:

$$X_k = \frac{M_k + M_{ft} - M_{ok}}{r_d} \quad (1.3)$$

Тангенцијална реактивна сила је заправо укупна сила кочења којом се успорава возило.

Пошто је пракса да се погонски момент који делује на точак током процеса кочења занемарује, тј. сматра се да је спојница искључена, тангенцијалну реактивну силу је могуће приказати на следећи начин:

$$X_k = F_k + R_{ft} \quad (1.4)$$

где је F_k ознака за силу кочења изазвану кочницама, односно:

$$F_k = \frac{M_k}{r_d} \quad (1.5)$$

Потребно је истаћи да кочница у току процеса кочења развија кочни момент M_k , тј. да је сила F_k заправо замишљена обимна сила, са идентичним дејством на точак као и момент M_k . Стога је потребан момент који кочница која кочи точак треба да оствари, при сили кочења X_k , и вредности отпора котрљању точка R_{ft} :

$$M_k = (X_k - R_{ft})r_d \quad (1.6)$$

Како се отпор котрљању при кочењу на тврдој подлози може занемарити, релација (1.6) се може писати као:

$$M_k = F_k r_d \cong X_k r_d \quad (1.7)$$

Услови приањања представљају ограничење када је у питању максимална вредност силе кочења. Сила кочења, тј. тангенцијална реакција износи:

$$X_{kmax} = \mu_{HFm} Z_t \quad (1.8)$$

где је μ_{HFm} највећа вредност приањања између точка и подлоге, а Z_t нормална реактивна сила.

Приањање је однос нормалне и максималне тангенцијалне реактивне силе на точку, односно мера квалитета споја точка и подлоге. Тако је максималној вредности приањања дат назив „коэффициент“ приањања, са ознаком μ_{HF} , тј. $\mu_{HFm} = \mu_{HF}$.

Како, према релацији (1.7), и доведени кочни момент утиче на вредност силе кочења, за сваку њену вредност мању од максимално могуће, са гледишта највећег приањања, тј. за свако $X_k < X_{kmax}$, важи следеће:

$$X_k = \mu_{HFs} Z_t \quad (1.9)$$

где је μ_{HFs} коефицијент искоришћеног приањања, и увек важи $\mu_{HFs} < \mu_{HF}$.

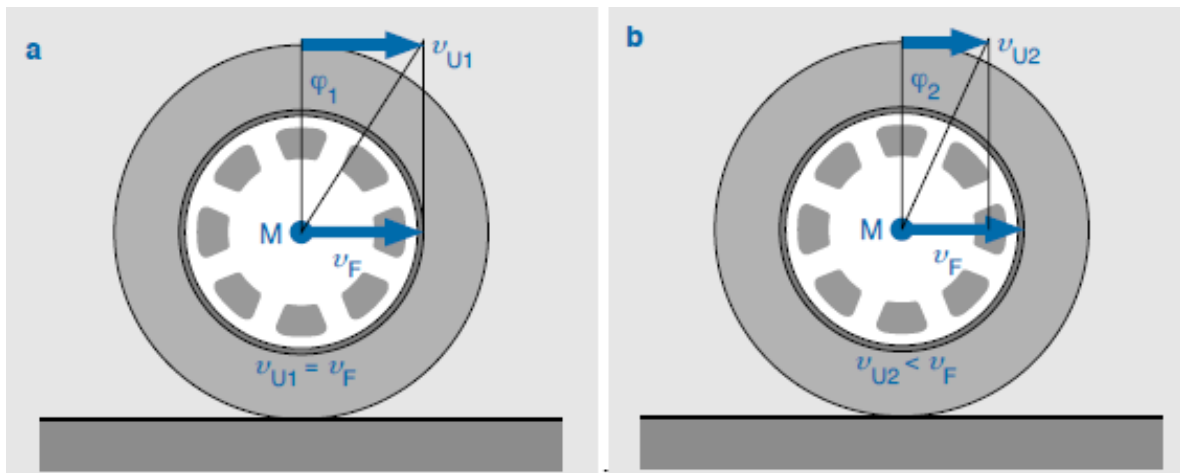
Приањање у стварности није константна величина, али га је могуће апроксимирати помоћу упрошћења, у виду коефицијента приањања. Оно заправо зависи од многих фактора, најпре клизања точка.

Приликом кретања возила долази до **клизања** точкова, појаве која се манифестује разликом између удаљености коју би возило требало теоретски да пређе за одређено време, и стварно пређеног пута. Чисто клизање резултира потпуним престанком обртања точка, односно блокирањем истог.

Коефицијент клизања λ , као мера клизања, дефинише се следећом релацијом:

$$\lambda = (v_F - v_U)/v_F \quad (1.10)$$

где је v_F – брзина возила, а v_U обимна брзина точка, као што се може видети на **слици 1.2**.



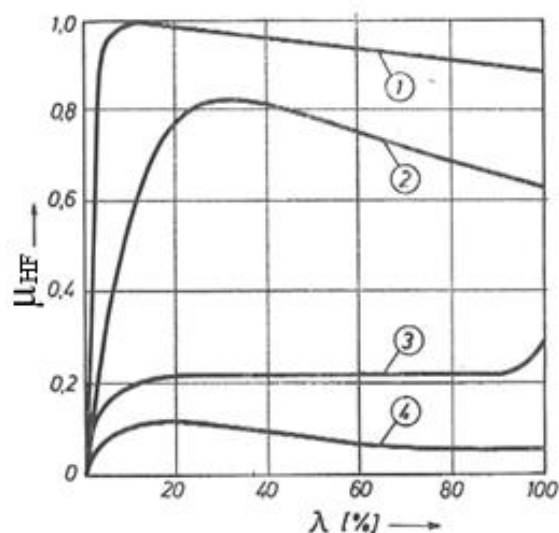
Слика 1.2 Ефекат кочења [2]

a) точак при ротацији, b) точак при кочењу

Коефицијент клизања λ је мера кинетичког трења, вредност $\lambda = 0 \%$ одговара случају котрљања без клизања, а вредност $\lambda = 100 \%$ значи да је точак блокиран, и возило постаје неуправљиво.

Приањање точка на подлогу омогућава пренос кочне силе, самим тим и смањење брзине возила и његово заустављање. Постоји тежња да коефицијент приањања између точка и подлоге буде што већи. Већа вредност коефицијента приањања доводи до преношења веће погонске силе, као и до побољшања стабилности вожње, јер је могуће уравнотежити евентуалну поремећајну силу додатном реакцијом у равни тла. Приањање пнеуматика у многоне зависи од количине присутног клизања. Овде се стога јавља потреба за коришћењем противблокирајућег кочног система.

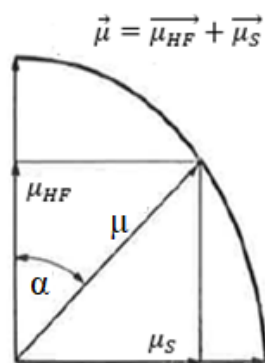
Карактер криве клизања (**слика 1.3**) зависи од бројних фактора, као што су врста и стање подлоге (асфалт, бетон, сува, влажна,...), конструкција и профил пнеуматика (дијагонални, радијални, широког профила,...), врста протектора (шара), истрошеност пнеуматика (дубина шара), притисак у пнеуматикама и тд. Са слике се јасно види да μ_{HF} достиже максималну вредност у области између 10 % и 40 % клизања точка, у зависности од подлоге и пнеуматика, а затим његова вредност опада.



Слика 1.3 Утицај пнеуматика и подлоге на приањање [1]

Генерално, када је точак под утицајем нормалних и бочних оптерећења, приањање у споју пнеуматика и пута тежи да се прилагоди правцу клизања точка, тј. односу тангенцијалне и бочне реакције. Тако се разликују приањање у подужном (тангенцијалном) и у бочном правцу, па постоје и одговарајуће компоненте коефицијента приањања, и то μ_{HF} (тангенцијално) и μ_S (бочно).

Однос поменутих компоненти коефицијента приањања може бити разноврстан, а **слика 1.4** даје упрошћен приказ овог односа. На овој слици са α је означен угао повођења, тј. бочног клизања, који представља угао између правца кретања и уздужне равни точка.



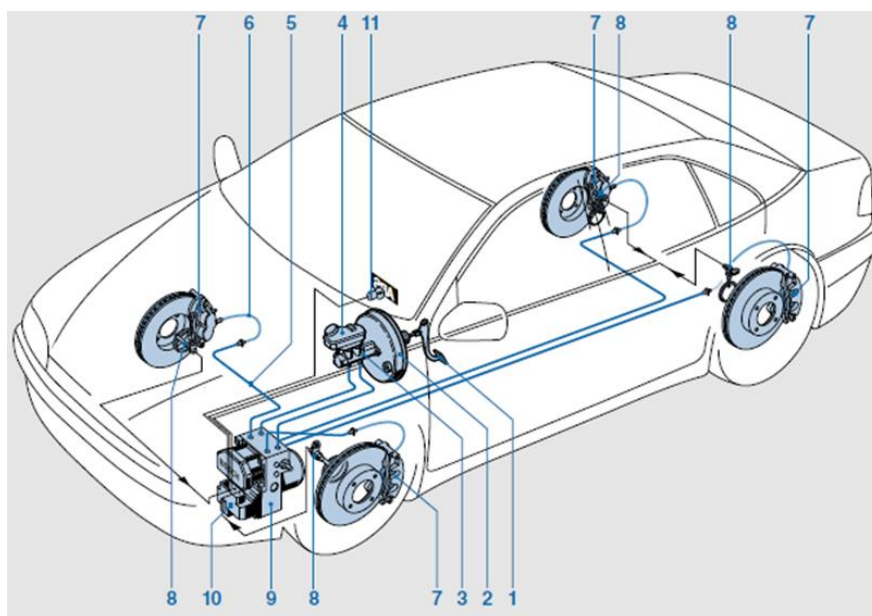
Слика 1.4 Компоненте коефицијента приањања [1]

Блокирање точка, тј. потпуно заустављање обртања и прелаз на чисто транслаторно клизање коченог точка у највећем броју случајева онемогућава контролу кретања возила, што је са становишта безбедности саобраћаја веома опасно.

Клизање и блокирање точкова су главни разлози за увођење противблокирајућих система кочења – ABS-а (енгл. *Antilock Braking System*), једног од електронских система за управљање кочним системом возила. Овај систем спада у групу активних система безбедности, који доприносе лакшем управљању возилом у критичним ситуацијама.

Данас се ABS комбинује са другим електронским системима, као што су систем електронске контроле стабилности – ESC (енгл. *Electronic Stability Control*), и систем контроле вучне снаге – TCS (енгл. *Traction Control System*).

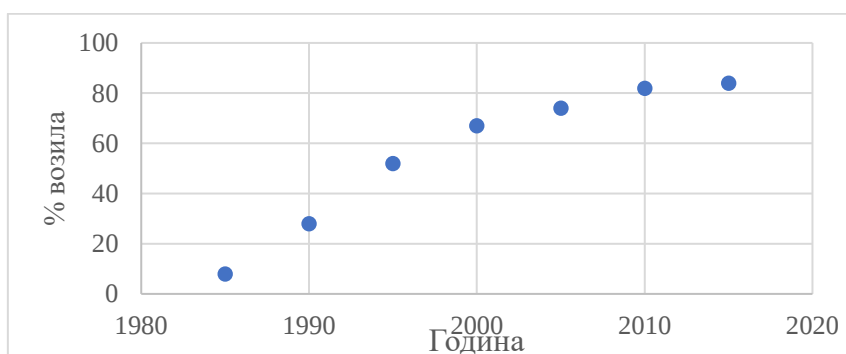
Принципска шема противблокајућег кочног система дата је на **слици 1.5**.



Слика 1.5 Противблокајући кочни систем [3]

1 - педала кочнице, 2 – појачавач силе кочења, 3 - главни кочни цилиндар, 4 - резервоар кочне течности, 5 - цев кочнице, 6 - црево кочнице, 7 – диск кочница са кочном чељусту, 8 - давач броја обртаја, 9 – хидраулички модулатор, 10 – електронска управљачка јединица (ЕУЈ), 11 - сигнална лампица ABS-а

Употреба ABS-а започета је најпре на авионима, 40-их година прошлог века, а затим су се проширили на друмска возила. Масовна употреба противблокајућих кочних система на возилима захтевала је доста више времена и усавршавања система. Први противблокајући системи примењени на друмским возилима су били веома непоуздани и неефикасни. Шездесетих година двадесетог века ABS је почео да се уграђује на задње точкове појединих луксузних возила. Развој микрорачунара и електронике током 80-их година допринео је великом помаку у технологији ABS-а, што је резултовало уграђивањем овог система у све већи број возила (**слика 1.6**).

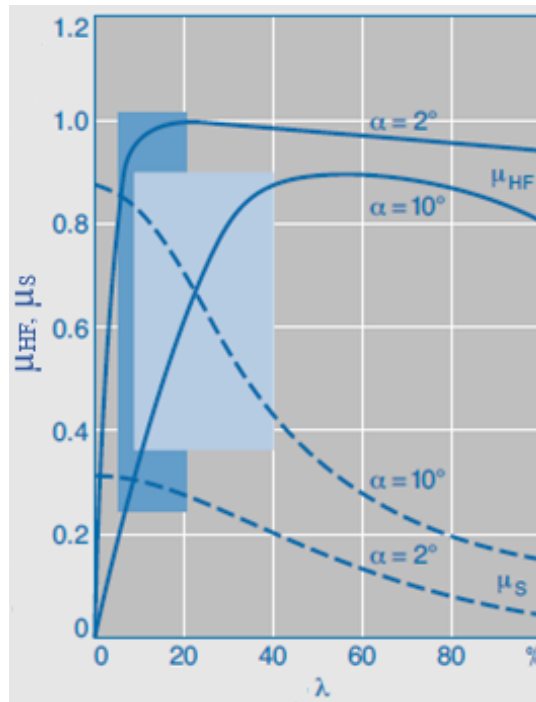


Слика 1.6 Примена ABS-а у возилима [4]

Четвороканални ABS (прати кретање сваког точка посебно) који је развила компанија *Bosch* је почео да се уграђује у поједина возила серијске производње 1978-е године, а данас улази у стандардну опрему готово свих возила која се производе. ABS омогућава механичку везу између педале кочнице и кочница, уз додатак хидрауличког модулатора.

Имплементација ABS-а је такође од великог значаја при кочењу током кретања возила у кривини. У овом случају је корисно посматрати **слику 1.7**, на којој су приказани карактери коефицијента приањања μ_{HF} , и коефицијента бочног приањања μ_S . Коефицијент бочног приањања μ_S јесте однос између бочне силе која делује у центру тачка, и нормалне реакције тла у тачки контакта са тачком.

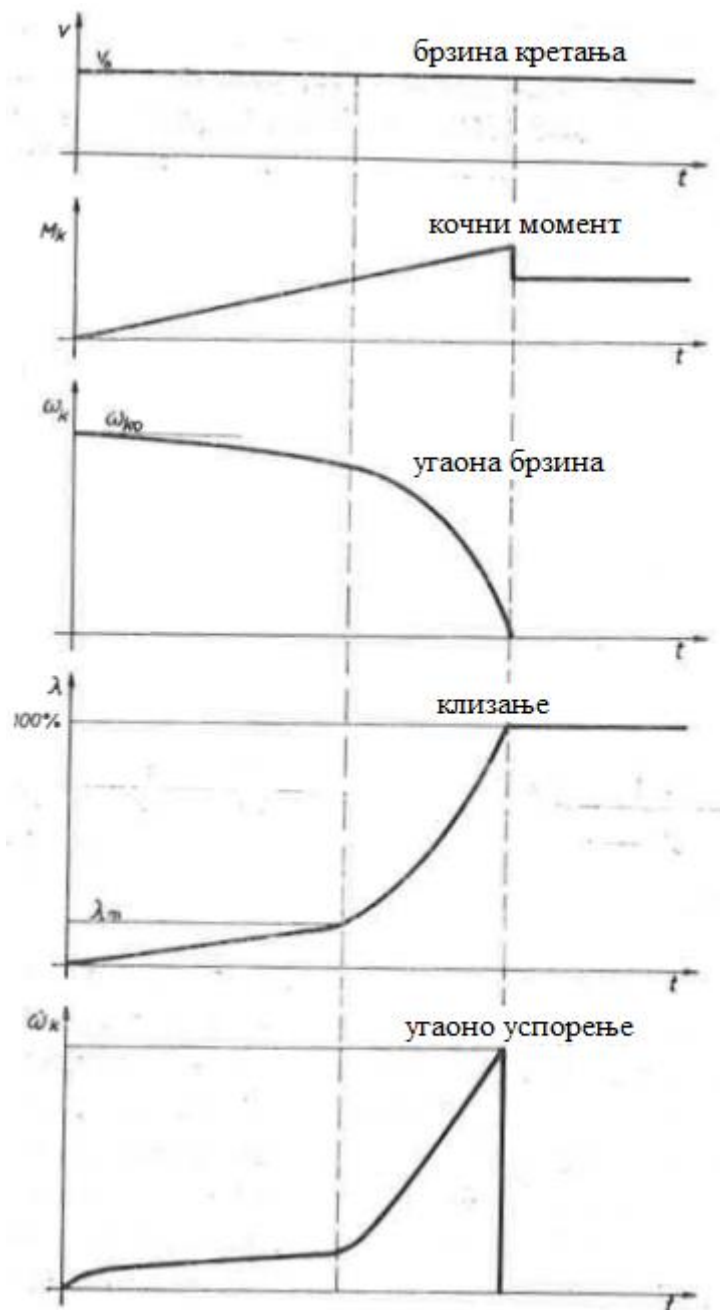
Слика 1.7 показује да се област рада ABS-а (плави правоугаоници) повећава са порастом угла повођења. Односно, уколико се изврши нагло кочење у кривини, када бочно убрзање има велику вредност, ABS раније започиње свој рад и долази до проклизавања тачка од око 10 %. У случају $\alpha = 10^\circ$, почетна вредност $\mu_S = 0.80$ је уједно и његов максимум, док почетна вредност μ_{HF} износи 0.35.



Слика 1.7 Зависност коефицијената тангенцијалног и бочног приањања од коефицијента клизања [3]

Пут кочења при кочењу у кривини је знатно дужи него у случају кочења по правом путу. Притом долази до смањења брзине кретања возила и бочног убрзања, и ABS дозвољава веће вредности клизања, што води ка повећању успорења, док вредност μ_S тежи 0.

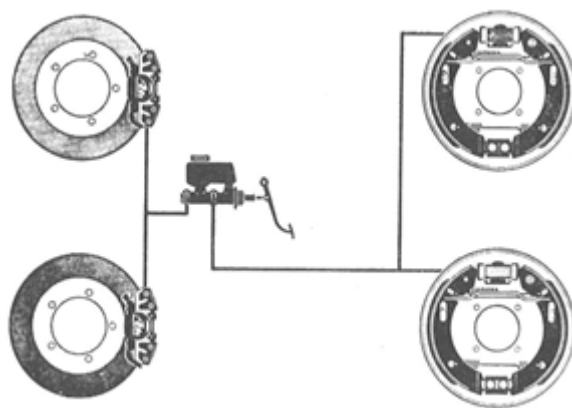
Клизање коченог тачка је у непосредној вези са параметрима режима кочења, односно доведеним кочним моментом и особинама споја тачка и пута. **Слика 1.8** даје приказ примера кочења кочним системом који није опремљен ABS-ом. Достизање максималне вредности приањања $\mu_{HF} = \mu_{HFm}$ прати снажан пораст клизања, односно врло брзо блокирање тачка, што су директне последице нестабилности приањања при високим вредностима приањања.



Слика 1.8 Промена основних параметара кретања у процесу кочења точка [1]

Данас су обавезни двокружни кочни системи, што значи да постоје два независна кочна круга (цевне инсталације, вентила, резервоара,...), који активацију извршних органа кочница врше независно. Уколико дође до отказа једног кочног круга, возило ће (додуше смањеним интензитетом) бити заустављено, захваљујући функционисању другог кочног круга.

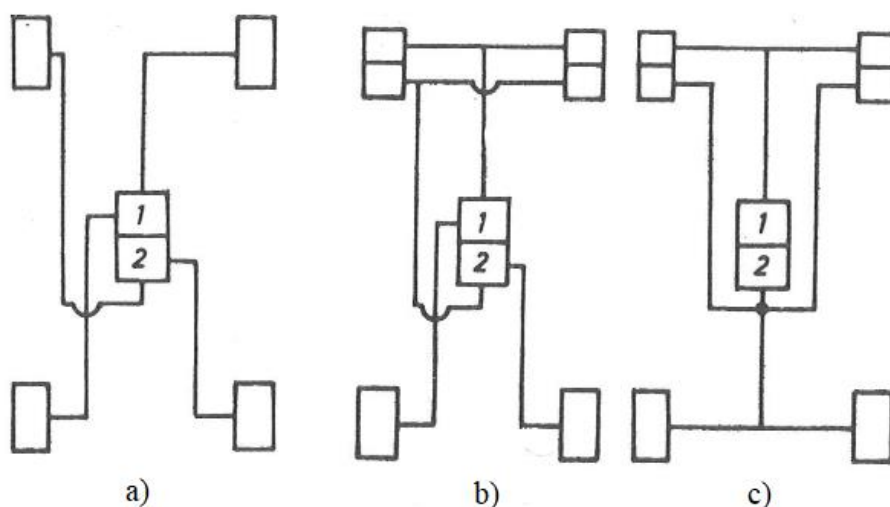
Сликом 1.9 дат је приказ тзв. **црно-беле** варијанте система где један кочни круг чине кочнице предњих (у овом случају диск-кочнице), а други кочнице задњих точкова (добош-кочнице). Стога је могућа расподела кочних сила по осовинама у жељеном односу. Најчешће налази примену код возила са погоном на задњим точковима.



Слика 1.9 Двокружни кочни систем [1]

Поред ове варијанте двокружног кочног система, јављају се још неке, приказане **сликом 1.10**.

Када је у питању **дијагонални** систем, такође постоје два независна кочна круга, код кога се у једном кругу налазе предња десна и задња лева кочница, а други круг чине две преостале кочнице (**слика 1.10а**). Ова изведба кочног система такође омогућава остваривање различитих кочних сила предњих и задњих точкова, што се остварује избором кочних цилиндара различитих пречника, пошто су притисци једнаки у свим. Дијагонални систем се најчешће примењује код возила са погоном на предњим точковима.



Слика 1.10 Различите изведбе двокружног кочног система [1]

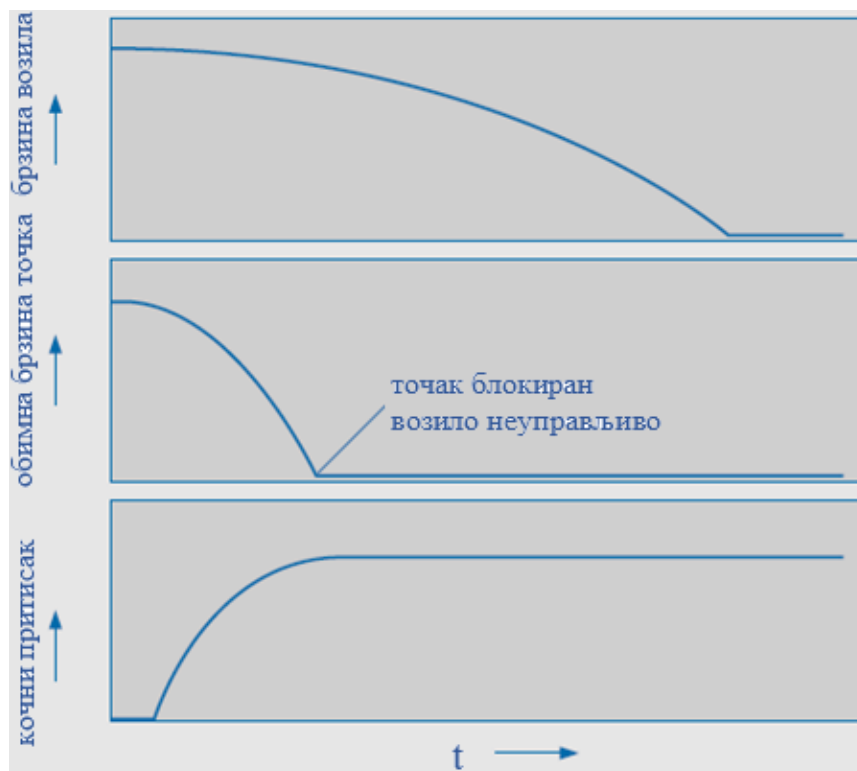
Међутим, ова варијанта система се не користи код савремених возила, јер је показала одређене недостатке. Наиме, уколико дође до отказа једног кочног круга, или се јави разлика између притисака (нпр. због цурења кочне течности), услед неједнаких кочних сила на точковима једне осовине, долази до заносења возила.

Постоје и друга сложенија решења када је сваким кругом обухваћен већи број кочница. Код решења приказаног **сликом 1.10б**, које се назива још и **троугаони** систем, и у једном и у другом кругу се активирају обе предње и једна задња кочница. Када је у питању варијанта илустрована **сликом 1.10с**, у првом кругу се активирају све четири кочнице, а у другом обе предње кочнице возила.

ABS се сусреће са великим бројем различитих захтева. Као прво, треба да омогући добру управљивост и стабилност на свим врстама подлога, као и у случају постојања испупчења и улегнућа на подлози. Приликом кочења је мање битан пут кочења, акценат се ставља на максимално искоришћење приањања између точка и подлоге. Управљивост и стабилност не би требало да зависе од могућих препрека на путу, као што је на пример лед у појединим деоницама пута. Бојне силе, које су посебно велике при кретању на разноврсном терену (нпр. леви точкови се крећу по асфалту, а десни по леду), не би требало да угрожавају безбедност вожње.

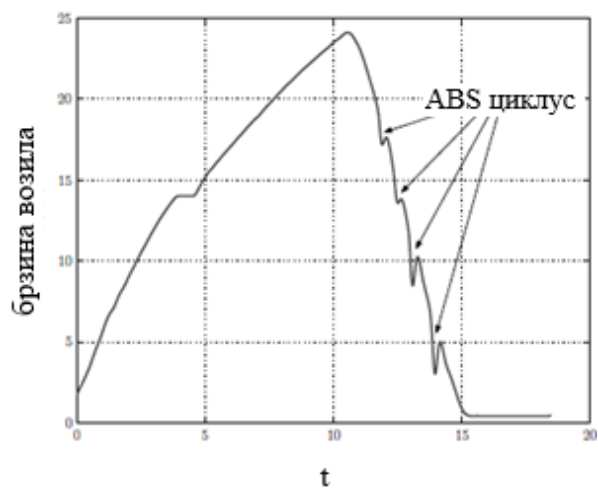
Главна примена ABS-а јесте детекција могућег блокирања једног или више точкова при **наглом кочењу**, и сходно томе кориговање притиска у кочницама. У случају да је обимна брзина точка мања од брзине возила, смањује се притисак у кочном цилиндру датог точка. Аналогно, уколико се неки од точкова креће већом брзином од осталих, повећава се притисак у његовом кочном цилиндру, што доводи до лакшег управљања и заустављања возила. Поједини системи су у могућности да изврше корекцију кочног притиска 15 пута у секунди, а приликом дејства ABS-а возач осећа пулсирање педале кочнице.

Слика 1.11 даје приказ параметара кочења при наглом кочењу кочним системом који не поседује антиблокирајуће дејство. Слика јасно показује да блокирање точкова и губитак управљивости возила у овом случају наступају у релативно брзом року, из чега следи потреба за увођењем противблокирајућих кочних система.



Слика 1.11 Кочење без ABS-а [2]

Слика 1.12 илуструје сигнал транслаторне брзине точкова и утицај примене ABS-а на исту.



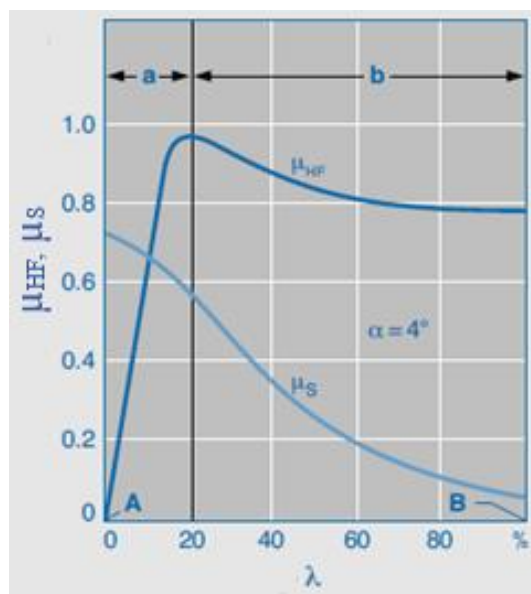
Слика 1.12 Сигнал брзине точкова и примена ABS-а [5]

2. УТИЦАЈ КОЧНОГ СИСТЕМА НА БЛОКИРАЊЕ ТОЧКОВА, ПРОКЛИЗАВАЊЕ, СТАБИЛНОСТ ВОЗИЛА

2.1 ABS, приањање и клизање

Противблокирајући кочни системи раде у затвореној петљи. Потребно је извршити одређена мерења карактеристика процеса кочења (транслаторна брзина возила, угаона брзина точка, коефицијент приањања,...) како би се обављало управљање у затвореној петљи.

Пренос сила између точка и подлоге директно је зависан од вредности приањања. **Слика 2.1** показује карактер коефицијента приањања μ_{HF} при кочењу, у зависности од клизања точка. Прогресивни део криве клизања, приказане на слици представља тзв. стабилну зону „а“ (зону делимичног кочења), док се дегресивни део назива нестабилном зоном „б“.



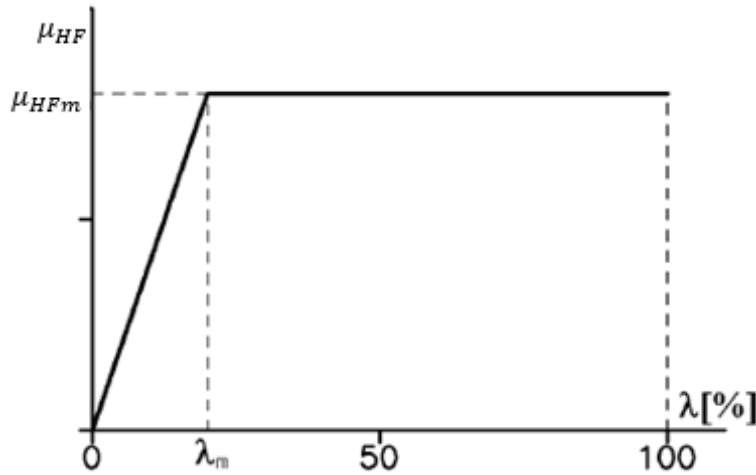
Слика 2.1 Коефицијенти трења и бочне силе у зависности од клизања точка [2]

Кочење се у највећем броју случајева дешава при малим вредностима клизања, у оквиру стабилне зоне, приликом чега повећање нивоа клизања доводи до повећања приањања пнеуматика. У возњи се тежи да се већина процеса кочења обави у оквиру ове зоне.

Када се уђе у регион нестабилне зоне, повећање клизања манифестује се смањењем приањања. Приликом кочења у овим условима, може доћи до блокирања точка. ABS и други системи електронског управљања кочним системом возила приликом кочења или убрзавања не дозвољавају улазак у нестабилну зону.

Слика 2.1 такође даје приказ коефицијента бочног приањања μ_S у зависности од клизања точка, при углу повођења $\alpha = 4^\circ$. Коефицијент бочног приањања достиже максимум када нема клизања. Појава клизања доводи до опадања његове вредности, а минималну вредност коефицијент бочног приањања достиже у тренутку блокирања точка.

Како би се обавила математичка анализа противблокирајућих система кочења, неопходно је упростити зависност уздужног приањања од клизања, према **слици 2.2**.



Слика 2.2 Идеализована крива уздужног приањања [6]

Приказана идеализација се може аналитички изразити на следећи начин:

$$\mu_{HF} = \begin{cases} k\lambda & \lambda < \lambda_m \\ \mu_{HFm} & \lambda \geq \lambda_m \end{cases} \quad (2.1)$$

$$k = \frac{\mu_{HFm}}{\lambda_m} \quad (2.2)$$

Једначина која описује динамику кретања точка који није блокиран:

$$J = \frac{d\omega}{dt} = M_\varphi - M_k \quad (2.3)$$

где су:

- J - момент инерције точка и ротирајућих маса сведених на точак,
- ω - угаона брзина точка,
- M_φ - момент кочења и
- M_k - момент приањања.

Уколико се анализира претходна једначине, за стабилну област кочења, где важи $\lambda < \lambda_m$ за точак са трансляторном брзином v_F долази се до диференцијалне једначине кретања точка:

$$\frac{Jv_F}{kZ_tr_d^2} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{v_F}{r_d} - \frac{v_F}{kZ_tr_d^2} M_k \quad (2.4)$$

Погодније је уместо угаоне брзине точка користити промену угаоне брзине точка у односу на угаону брзину точка у почетном тренутку кочења ω_0 :

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega \quad (2.5)$$

где је $\Delta\omega$ промена угаоне брзине точка.

Одавде следи:

$$\frac{Jv_F}{kZ_tr_d^2} \frac{d(\Delta\omega)}{dt} + \Delta\omega = -\frac{v_F}{kZ_tr_d^2} M_k \quad (2.6)$$

Претпоставка да момент кочења расте линеарно са временом, изражена изразом $M_k = ct$, где је c константа, и диференцирање добијеног решења омогућавају одређивање брзине промене угаоне брзине точка, тј. угаоног успорења точка као:

$$\frac{d(\Delta\omega)}{dt} = \frac{d\omega}{dt} = -\frac{cv_F}{kZ_tr_d^2} \left(1 - e^{\frac{kZ_tr_d^2}{Jv_F}t} \right) \quad (2.7)$$

Чињеница да експоненцијални члан претходне релације постаје занемарљив великом брзином, доводи до закључка да су угаоно успорење точка и брзина пораста кочног момента пропорционални.

Када је у питању нестабилна област кочења ($\lambda \geq \lambda_m$), могуће је одредити угаоно успорење точка, тј. промену угаоне брзине точка на следећи начин:

$$\frac{d(\Delta\omega)}{dt} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{\mu_{HFm}r_dZ_t}{J} - \frac{M_k}{J} = \frac{\mu_{HFm}r_dZ_t}{J} - \frac{ct}{J} \quad (2.8)$$

Релација (2.8) показује да угаоно успорење, пошто расте са временом, за кратак временски период достиже високе вредности. Угаоно успорење је у овој области у мањој мери под утицајем момента инерције точка, што доводи до велике разлике при кочењу точка са искљученом спојницом (када је момент инерције точка мали) и са укљученом спојницом (случај када је момент инерције точка због дејства момента инерције мотора и система преноса снаге велики).

Када су у питању погонски точкови, укључена спојница доводи до смањења разлике у понашању у стабилној и нестабилној области кочења, одн. јавља се осетљивост успорења точка од момента кочења.

За аутоматско управљање ABS-ом могуће је користити више величина:

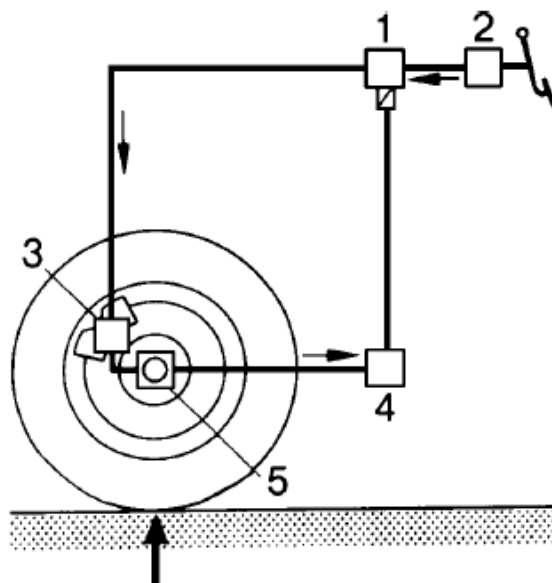
- клизање точкова,
- угаоно успорење точкова,
- комбинацију угаоног успорења и клизања точкова,
- комбинацију угаоног успорења, клизања точкова и трансляторног успорења возила, или
- коефицијент приањања.

Приликом клизања се максимум коефицијента приањања мења у широким границама, па није могуће прецизно утврдити јединствени праг клизања у односу на који би се обављало управљање, па није препоручљиво користити клизање као једину управљачку величину у противблокајућим системима.

Што се тиче угаоног успорења као управљачке величине, могуће је користити га због постојања разлике у условима кочења у стабилној и нестабилној зони, поготово код точкова који нису погонски. Када су у питању погонски точкови, уколико је спојница укључена, разлика у условима кочења има малу вредност, што отежава управљање на овај начин.

Оптимално, а истовремено и најкомплексније решење управљања противблокирајућим кочним системима јесте коришћење комбинације угаоног успорења и клизања точкова као управљачке величине. Пошто ово решење захтева мерење трансаторне брзине возила и угаоне брзине точка, потребна су два давача.

Општеприхваћено решење, које се између осталог користи на ABS системима фирме *Bosch*, јесте примена давача угаоне брзине точкова, на бази које се приближно рачунају трансаторна брзина возила и клизање точкова. **Слика 2.3** приказује принцип управљања противблокирајућих кочних система са повратном спрегом, помоћу давача угаоне брзине.



Слика 2.3 Систем управљања ABS-ом у затвореној петљи [6]

Возач деловањем на главни кочни цилиндар (2) преко хидрауличког модулатора (1) делује на кочни цилиндар точка (3), чиме се започиње процес кочења. Давац угаоне брзине точка (5) све време мери угаону брзину точка, и резултат мерења се прослеђује електронској управљачкој јединици (4). У ЕУЈ се обавља израчунавање угаоног успорења точка, трансаторне брзине возила, клизање точкова, као и кориговање притиска у кочним цилиндрима хидрауличким модулатором, на основу унапред дефинисаног алгоритма.

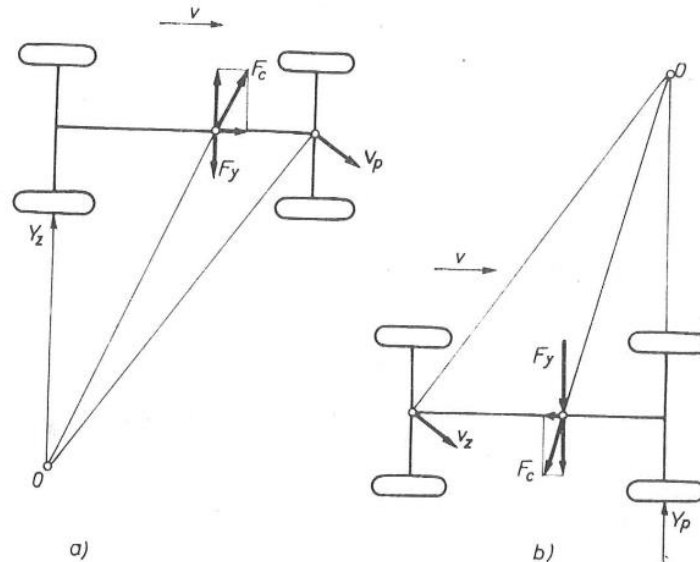
2.2 Стабилност

Приликом појаве изненадне опасности на путу возач врши нагло кочење, и тада је битно да возило не изгуби стабилност, одн. да настави кретање по трајекторији коју задаје возач.

До губитка стабилности може у случају да процес кочења наступи на граници приањања, и тада долази до блокирања точкова, које може имати тешке последице. Возило чији су точкови блокирани, тј. нису у могућности да обезбеде потребне бочне

реакције, при утицају спољних поремећаја (бочни ветар, центрифугална сила и сл.) губи стабилност. Противблокирајући кочни систем у екстремним ситуацијама не дозвољава блокирање точкова, па је возило способно да задржи стабилност.

Ради сагледавања утицаја редоследа блокирања точкова, посматра се **слика 2.4**. Поменута слика приказује кретање возила у обе карактеристичне ситуације: са блокираним предњим (a) и са блокираним задњим точковима (b).



Слика 2.4 Блокирање точкова [1]

Слика 2.4 показује да у случају блокирања предњих точкова, под дејством поремећајне силе F_y , долази до заносења предње осовине возила у смеру поремећајне силе. Ово доводи до ротације возила око тренутког пола, што изазива реакцију на задњој осовини Y_z , која врши уравнотежење F_y . Ротација у тежишту возила доводи до појаве центрифугалне силе F_c , чија се компонента директно супротставља поремећајној сили, са циљем враћања возила на првобитан правац кретања. У овом случају долази до спонтане стабилизације возила. Нажалост, возач је у малом броју случајева у могућности да примети губитак могућности управљања возилом, који представља последицу блокирања предњих точкова.

У случају да при кочењу најпре дође до блокирања точкова задње осовине Y_p , јављају се реакције које уравнотежавају поремећај F_y . И овде ротација возила у његовом тежишту доводи до појаве центрифугалне силе F_c . Међутим, у овом случају њена компонента делује у смеру истом као и поремећај. Ова појава доводи до даљег заносења возила, тј. повећања угла ротације. То доводи до повећане нестабилности и тенденције одступања од првобитне трајекторије задате од стране возача. Вештина возача овде може доћи до изражаја, јер уколико возач успе да осети заносење задње осовине, брзо смањење притиска на педали кочнице и одговарајућа реакција на точку управљача довешће до избегавања потпуног заносења возила и потпуног губитка стабилности.

Наравно, најбоље је да процес кочења не прати блокирање точкова. Међутим, уколико је то неизбежно, повољније је да прво блокирају предњи точкови. Одавде следи захтев да решење кочног система обезбеђује претходно блокирање предњих точкова.

Јавља се проблем што је истовремено неопходно обезбедити и потребне вредности успорења. Захтев високе стабилности и захтев високих кочних карактеристика (мали зауставни пут, велика успорења) су заправо опречни, одн. потенцирање стабилног кретања коченог возила може довести до недовољних успорења, тј. превеликог пута заустављања, што је са становишта безбедности саобраћаја недопустиво.

Избором кочних сила предњих и задњих точкова може се избећи блокирање точкова. Како би возило при кочењу било стабилно, кочне силе морају задовољавати следећу релацију:

$$\frac{F_{kp}}{F_{ks}} = \frac{Z_p \mu_{HFp}}{Z_z \mu_{HFz}} \quad (2.9)$$

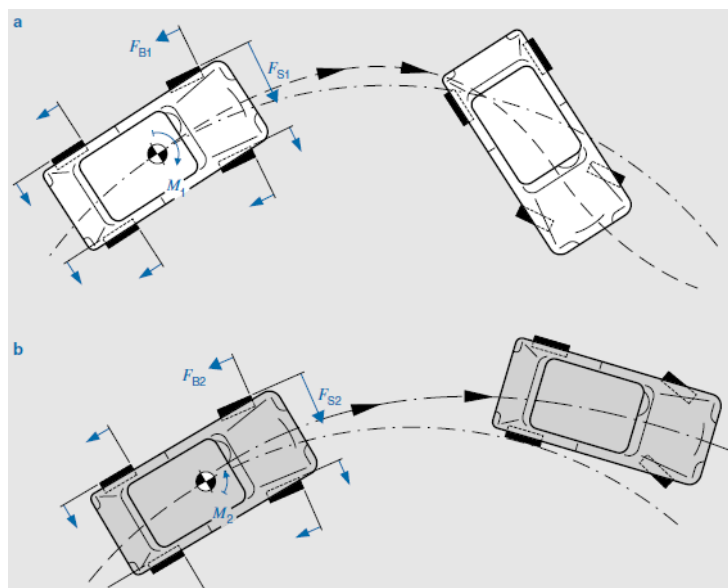
где је F_{kp} кочна сила предњих точкова, F_{ks} кочна сила задњих точкова, Z_p нормална реакција предњих точкова, Z_z нормална реакција задњих точкова, μ_{HFp} коефицијент приањања предњих точкова и μ_{HFz} коефицијент приањања задњих точкова.

Једначина такође указује на чињеницу да, услед широких граница промене коефицијента приањања, при константној вредности односа кочних сила није могуће постићи задовољавајућу стабилност и управљивост.

Како постоји потреба за широким распоном промене односа кочних сила предњих и задњих точкова, класични кочни системи су замењени противблокирајућим кочним системима.

Приликом кочења у кривини (слика 2.5) долази до прерасподеле масе возила са задње на предњу осовину, што доводи до значајне разлике између бочних сила на предњој и задњој осовини, која резултира стварањем момента заокретања M_1 . Овај момент утиче на губитак стабилности возила (слика 2.5а).

Приликом губитка стабилности точкови не приањају у довољној мери, које би довело до појаве стабилизационе силе. У овом случају и најмања бочна сила може довести до заносења возила, његовог окретања око сопствене осе, што може резултирати сударом и фаталним исходом по путнике у возилу.

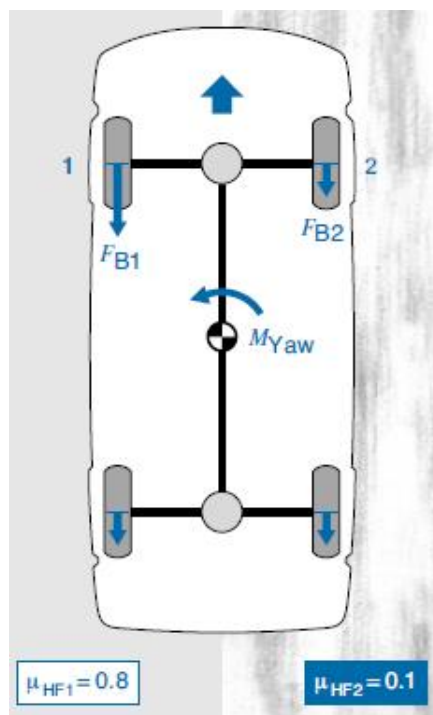


Слика 2.5 Кочење у кривини [3]
 F_B – Сила кочења, F_S – бочна сила

У случају да је кочни систем возила опремљен ABS-ом, **слика 2.5b**, долази до стварања момента M_2 у смеру супротном од жељеног смера кретања, па не долази до губитка стабилности кретања возила.

2.3 Дејство ABS-а када један део возила иде по леду

Деловање противблокирајућег кочног система у случају кретања једног дела возила по подлози са различитим коефицијентом приањања, нпр. леду са веома ниским μ_{HF} , доводи до различитих вредности сила кочења (F_{B1}, F_{B2}) на точковима (**слика 2.6**). Различите силе кочења на точковима доводе до стварања момента M_{Yaw} , који негативно утиче на стабилност кретања возила.



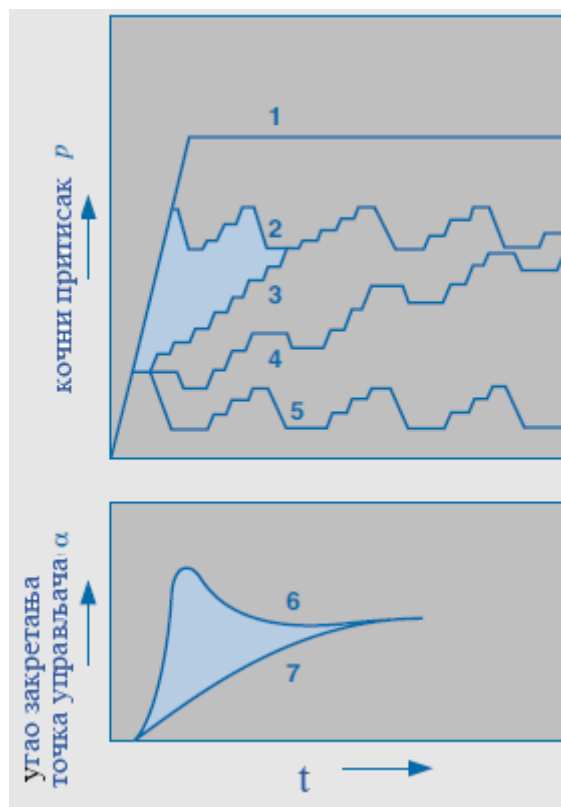
Слика 2.6 Момент заокретања проузрокован различитим силама кочења [2]

Нагло кочење класичним кочним системом ће у овом случају довести до заносења возила у смеру подлоге са већим коефицијентом приањања (асфалт). Посебан додатак ABS-у јесте могућност одлагања утицаја момента заокретања, који се јавља због постојања разлике између притисака у кочним цилиндрима точкова. Овде се огледа позитиван утицај ABS-а, јер он не дозвољава губитак стабилности возила.

Крива 1 на **слици 2.7** приказује притисак у главном кочном цилиндру, крива 2 је притисак у кочницама точкова који се крећу по сувом асфалту, док је крива 5 притисак у кочницама точкова којима је подлога лед. Уочава се да је при кретању по леду неопходан доста мањи притисак при кочењу у односу на асфалт.

Када точак који се креће по леду почне да проклизава, притисак у кочном цилиндру точка који кретање врши по сувом асфалту се постепено повећава. Када се достигне потребни ниво притиска точка који се креће по асфалту, долази до максималног искоришћења кочне силе, што је илустровано кривом 3.

При кочењу у екстремној ситуацији, када дође до смањења притиска у кочном цилиндру точка који се креће по леду, притисак у другим точковима се прво задржава на постојећем нивоу, а затим се смањује (крива 4). Након тога се притисак у цилиндрима точкава који се налазе на леду повећава, и ово повећање доводи до дужег раста притиска у цилиндрима точкава на асфалту.



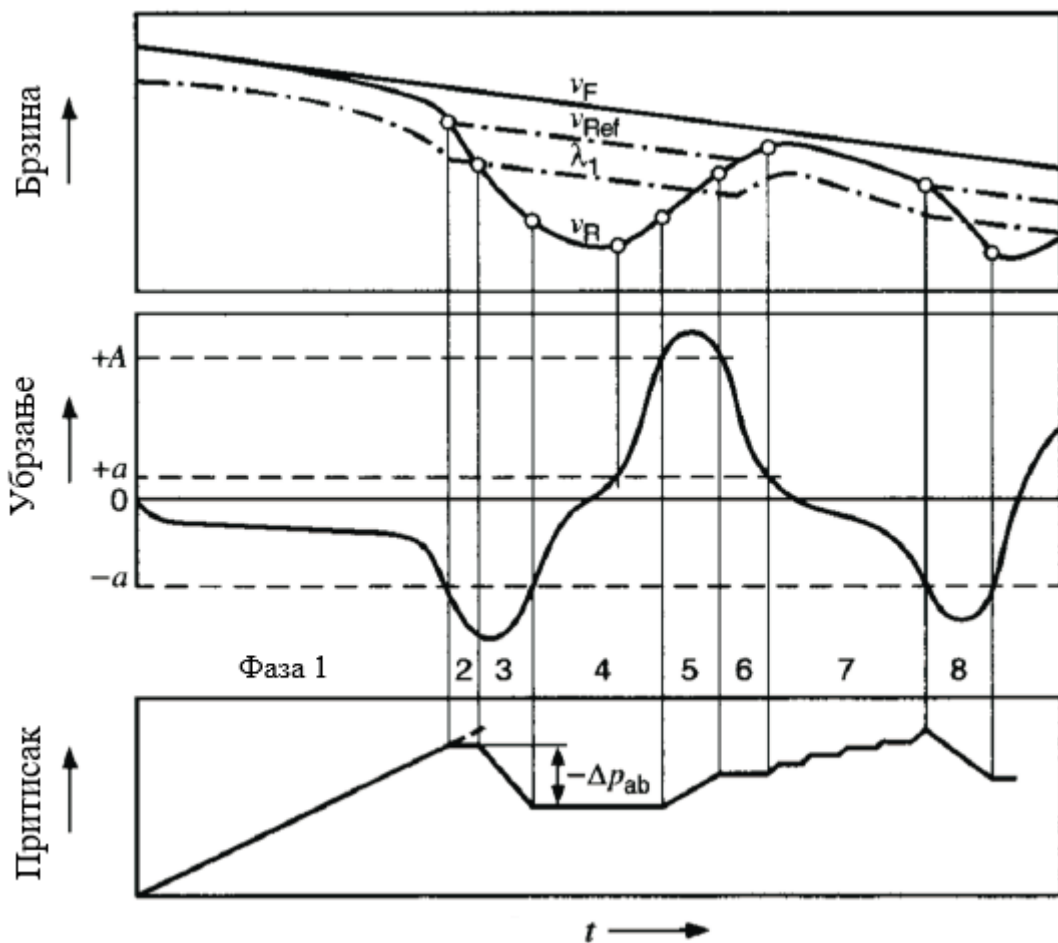
Слика 2.7 Вредности притиска у кочним цилиндрима точкава и угла закретања точка управљача [2]

Доњи део **слике 2.7** даје вредности угла закретања точка управљача које су потребне како би се задржала трајекторија током кочења возила опремљеног ABS-ом (крива 7), као и возила које није опремљено поменути системом (крива 6).

3. АЛГОРИТМИ ЗА ЕЛЕКТРОНСКО УПРАВЉАЊЕ КОЧНИМ СИСТЕМОМ ВОЗИЛА

3.1 Нагло кочење у условима високог приањања

Процес наглог кочења са **противблокирајућим системом кочења, у условима високог приањања** састоји се из 8 фаза, и илустрован је **сликом 3.1**. Транслаторна брзина возила v_F замењена је референтном брзином возила v_{Ref} . Референтна брзина се израчунава на бази вредности угаоне брзине точкова које дају давачи на точковима, непосредно пре почетка и током процеса кочења. Уколико су давачи угаоне брзине постављени на свим точковима, највећа брзина представља референтну брзину возила. Разлика између референтне и стварне брзине возила у првој фази кочења је минорна.



Слика 3.1 Процес кочења са противблокирајућим системом кочења у условима високог приањања [7]

У почетку кочења успорење возила је 0. **Фаза 1** одликује се порастом притиска у кочном цилиндру, док успорење возила има скоро па константну вредност. Раст притиска доводи до наглог повећања успорења, и повећава се клизање точкова. У тренутку достизања вредности успорења од $-a$ започиње друга фаза процеса кочења.

Притисак у кочном цилиндру остаје константан у **фази 2** кочења, из чега следи пораст успорења возила. Обимна брзина точка у тренутку постизања успорења од $-a$ се сада сматра референтном брзином возила. Обимна брзина точка v_R се разликује од референтне брзине возила v_{Ref} . Посматрајући даљи карактер процеса кочења, увиђа се да у наредном периоду долази до смањења референтне брзине, и то са истим нагибом као у првој фази. Израчунавање прага клизања λ_1 врши се на основу референтне брзине. Праг клизања јесте вредност клизања која не би требало да се премаши, док је тренутно клизање резултат сагледавања вредности стварне обимне брзине точка и претходно одређене референтне брзине. Тренутак прекорачења вредности λ_1 означава прелазак у наредну фазу кочења.

Фаза 3 кочења доноси линеарно смањење притиска у кочном цилиндру, па долази до убрзавања точка. Када се достигне вредност убрзања од $-a$, започиње следећа фаза кочења.

У **фази 4** кочења притисак у кочном цилиндру се држи на истом нивоу до тренутка достизања програмски дефинисаног убрзања $+A$. Повећање убрзања утиче на пораст обимне брзине точка v_R . Достизање убрзања $+A$ истовремено представља завршетак ове фазе кочења.

Наредна, **фаза 5** кочења огледа се линеарним повећањем притиска у кочном цилиндру, под условом да убрзање точка има вредност вишу од $+A$. Када убрзање падне испод те вредности, започиње шеста фаза кочења.

Фаза 6 кочења одликује се одржавањем притиска у кочном цилиндру на истом нивоу, а то доводи до повећања обимне брзине, као и до смањења убрзања. У одређеном тренутку обимна брзина достиже вредност већу од референтне брзине, и тада обимна брзина постаје референтна брзина точка. Постизање вредности угаоног убрзања точка од $+a$ означава прелазак у седму фазу кочења.

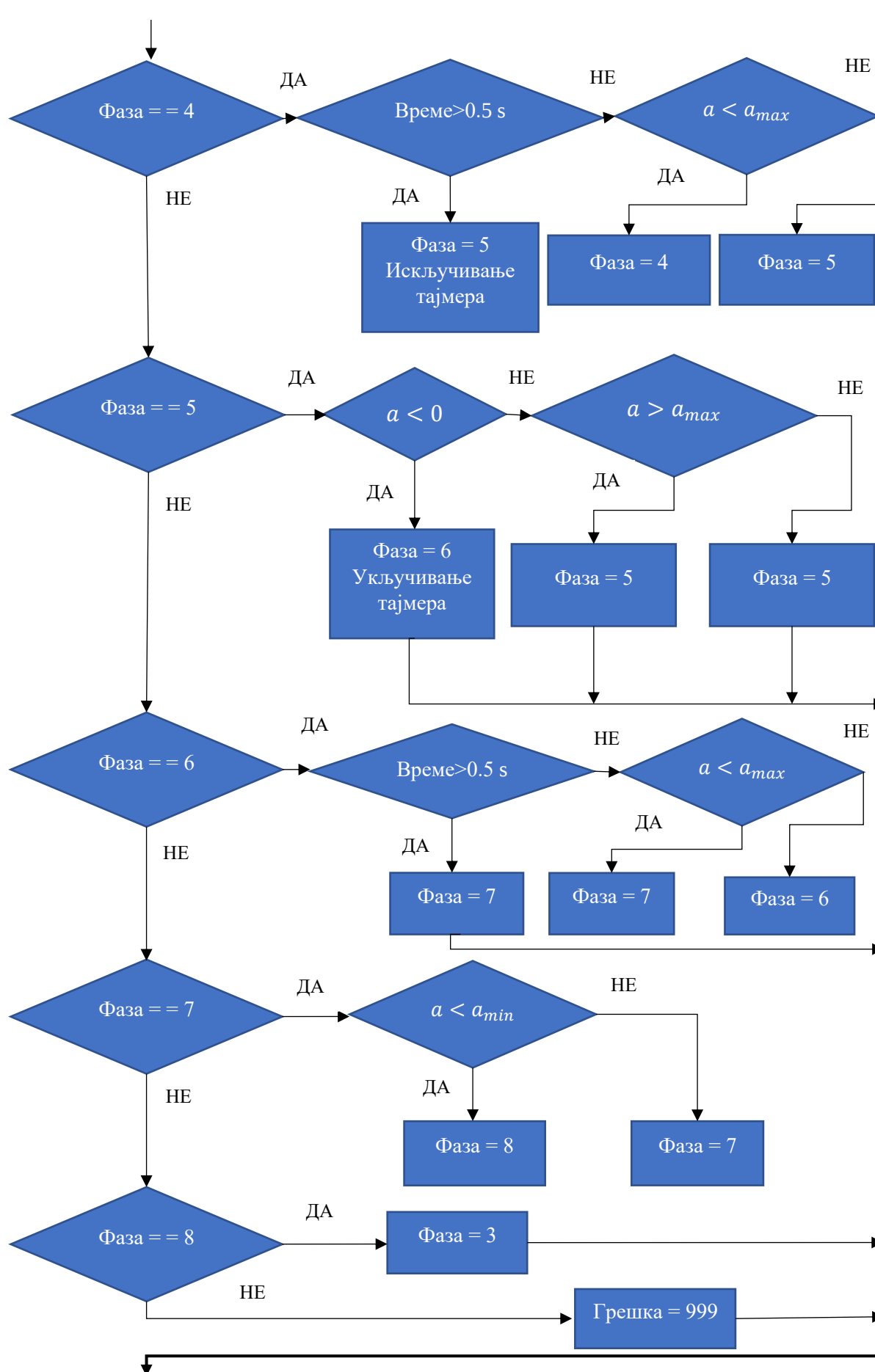
У **фази 7** долази до степенастог повећања притиска у кочном цилиндру, па угаоно успорење расте, све док не пређе вредност од $-a$. Референтна брзина сада има вредност обимне брзине точка у тренутку достизања поменутог успорења. Када се пређе праг $-a$, завршава се седма и започиње осма фаза кочења.

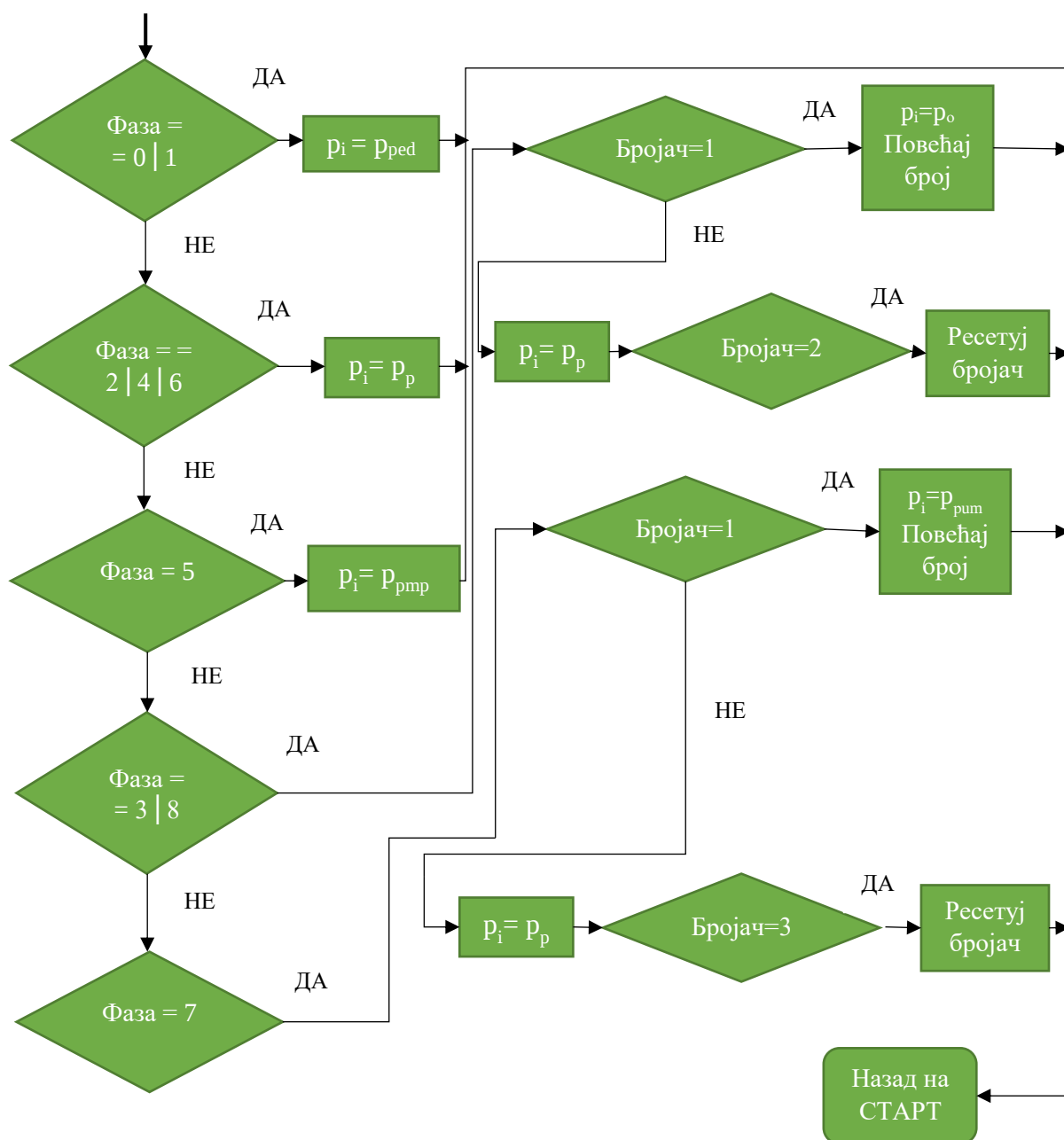
Фаза 8 кочења има исти карактер као друга или трећа фаза, што првенствено зависи од разлике између референтне брзине и обимне брзине точка. У наставку се понављају поменуте фазе, све до потпуног заустављања возила.

Нагла промена коефицијента приањања доводи до такође наглог смањења угаоне брзине точка, и коефицијент клизања добија доста већу вредност λ_2 . Редукција притиска у кочном цилиндру у противблокирајућем кочном систему врши се до тренутка достизања одговарајућег нивоа клизања и успорења.

На **слици 3.2** приказан је дијаграм контролног алгоритма ABS-а компаније *Bosch*.







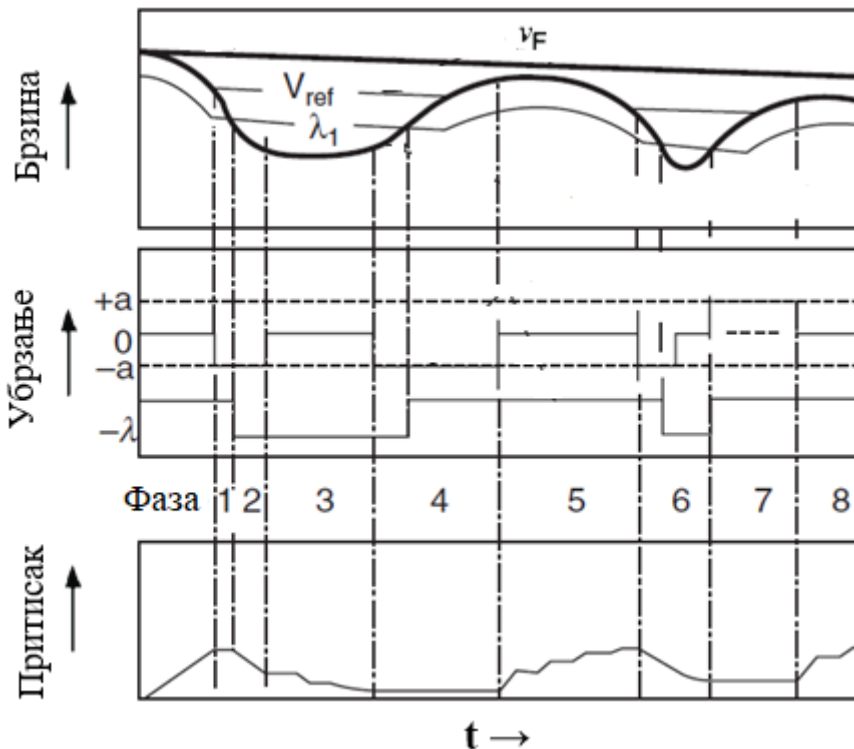
Слика 3.2 Дијаграм контролног алгоритма [8]

p_i – излазни притисак, p_p – претходни притисак, p_{ped} – притисак педале,
 p_{pmp} – притисак пумпе, p_o – притисак отпуштања, p_{pum} – притисак пумпања

Дијаграм приказан **сликом 3.2** подељен је на три дела. Део наранџасте боје представља калкулације улазних параметара које контролер захтева, плави део представља логички део, а плави је део за контролу хидрауличког модулатора.

3.2 Нагло кочење у условима ниског приањања

Када је у питању кретање возила по клизавим подлогама, са ниским вредностима приањања, представљен сликом 3.3, и најмање дејство на педалу кочнице може проузроковати блокирање точкова. Такође, време потребно за поновно убрзање је доста веће. ЕУЈ је одговорна да примети промену услова пута, и да тиме регулише функционисање ABS-а.



Слика 3.3 Процес кочења са противблокирајућим системом кочења у условима ниског приањања [9]

ABS аутоматски препознаје уколико је подлога клизава, и користи другачији контролни алгоритам. У овом случају је вредност $-a$ доста ближа 0 , па је одговор система значајно бржи. Такође, **фаза 3 и 4 постају фаза 2, 3 и 5.**

У току **фазе 3**, која је у случају високог приањања фаза 4, период одржавања притиска на истом нивоу је краћи, а затим се обимна брзина точка упоређује са прагом клизања λ_1 . Будући да је обимна брзина точка нижа од λ_1 , следи смањење притиска у кочном цилиндру, у кратком периоду.

У наредном делу фазе 3 притисак се одржава константним. Затим се поново врши упоређивање обимне брзине точка са прагом клизања, и опет се смањује притисак у кочном цилиндру. Током одржавања притиска константним, убрзање се повећава и прелази вредност $+a$.

Следи **фаза 4**, у којој наступа дужи период одржавања притиска на константном нивоу, до тренутка када убрзање падне испод вредности $+a$. **Фаза 5** је праћена кратким повећањима и заустављањима раста притиска, а **фаза 6** линеарним опадањем нивоа притиска. У току **фазе 7** притисак се опет одржава на константном нивоу, а у **фази 8** долази до постепеног раста притиска.

4. ФУНКЦИОНИСАЊЕ И КОНСТРУКЦИЈА ДАВАЧА И АКТУАТОРА У КОЧНОМ СИСТЕМУ СА ЕЛЕКТРОНСКИМ УПРАВЉАЊЕМ

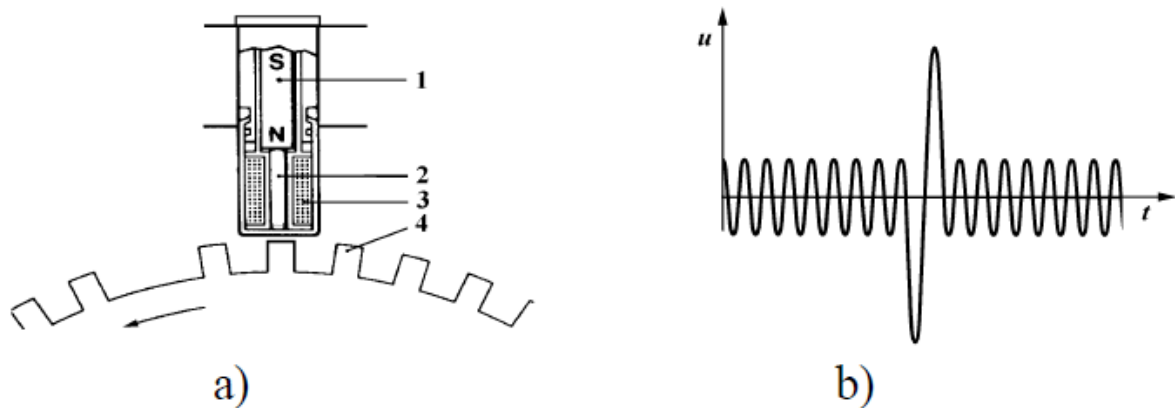
Принципска шема возила са ABS-ом је већ била приказана на **слици 1.5**. На слици можемо да уочимо даваче који дају информације о брзини возила и притиску у кочној инсталацији, актуаторе који стварају одговарајућу кочну силу и електронску управљачку јединицу која их повезује и управља радом целог кочног система.

4.1 Давачи

4.1.1 Давач броја обртаја

Давач броја обртаја се поставља на точковима, и преноси сигнал до електронске управљачке јединице. У зависности од примењеног ABS-а, на возилу се постављају три или више ових давача. Број обртаја се користи за израчунавање обимне брзине сваког точка посебно, којима се одређује величина клизања између точкова и подлоге, и одређује се да ли ће доћи до блокаде точкова.

Постоје две врсте давача броја обртаја, пасивни и активни. Код пасивних, тј. индуктивних, (**слика 4.1**) се сигнал генерише помоћу челичног назубљеног точка, који је у чврстој вези са главчином точка и врши ротацију истом обимном брзином као точак. **Слика 4.1** под **б)** приказује индуковани сигнал пасивног давача броја обртаја.



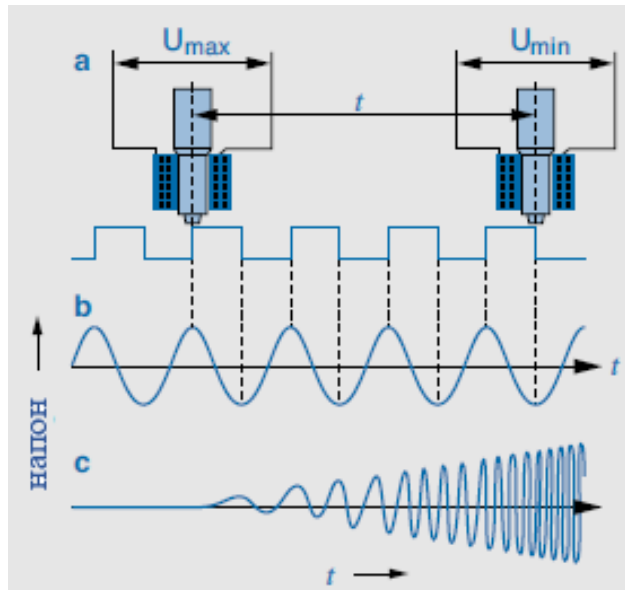
Слика 4.1 Пасивни давач броја обртаја [6]

а) структура давача, б) индуковани сигнал

1 – стални магнет, 2 – полни наставак магнета,

3 – намотај давача, 4 – назубљени точак

На **слици 4.2** се може видети излазни сигнал пасивних давача броја обртаја.



Слика 4.2 Излазни сигнал пасивног давача броја обртаја [2]

a) пасивни давач броја обртаја, b) сигнал давача при константној брзини точка, c) сигнал давача при растућој брзини точка

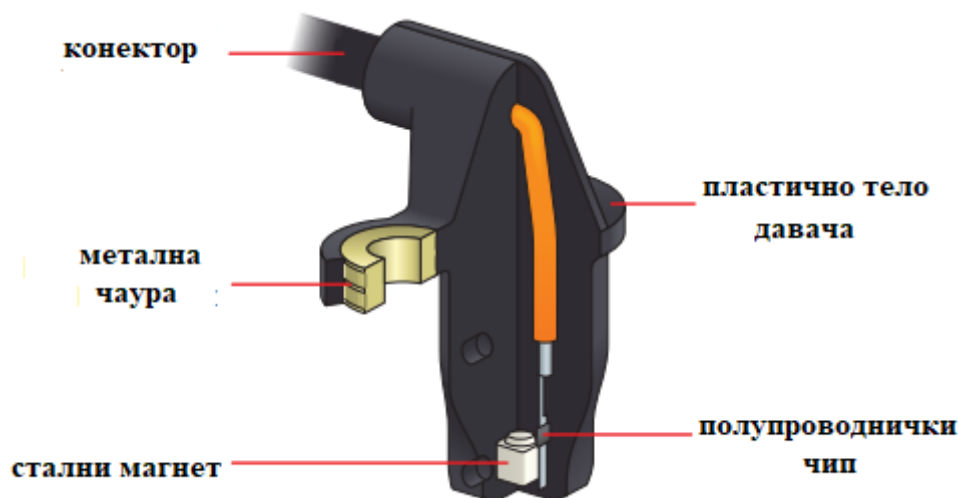
Сликом 4.3 приказан је пасивни давач броја обртаја примењен на возилу.



Слика 4.3 Пасивни давач броја обртаја примењен на возилу

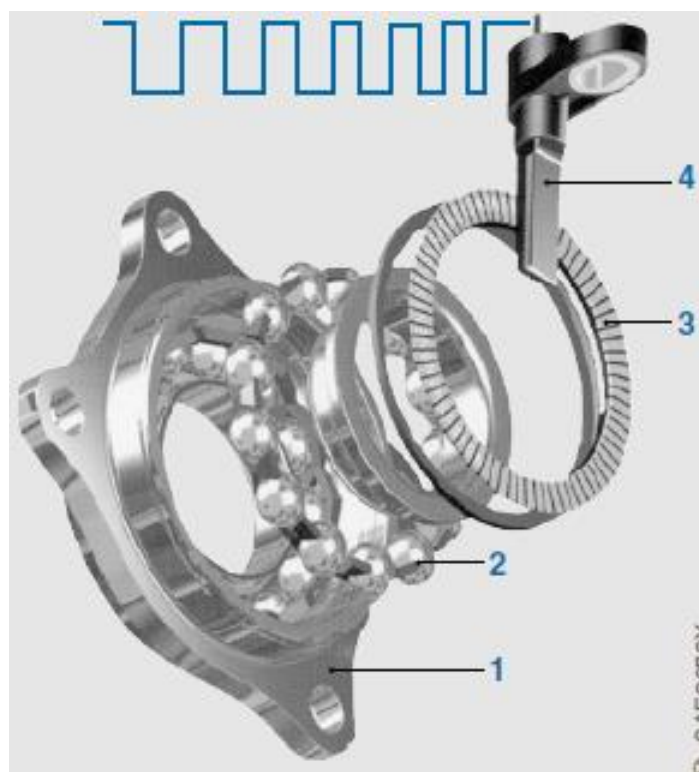
Са друге стране, сигнал активних давача се генерише помоћу двополних прстена. Од 1998-е године на већини нових возила се уграђују активни давачи броја обртаја, док су пасивни ствар прошлости.

Глава активног давача броја обртаја (слика 4.4) у општем случају садржи херметички затворено интегрисано електрично коло, израђено пластичним ливењем силицијума.



Слика 4.4 Активни давач броја обртаја [10]

Код активних давача броја обртаја уместо назубљеног точка примењује се двополни прстен. Двополни прстен се састоји од пластичних елемената различитих намагнетисања, који су монтирани на ненамагнетисани метални носач (слика 4.5).

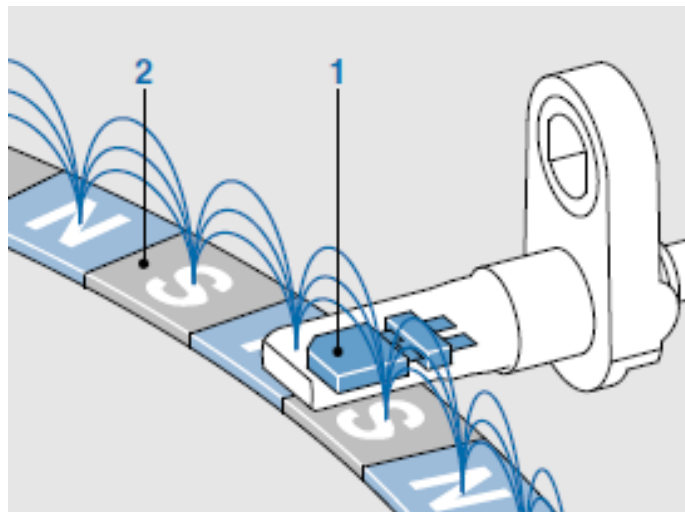


Слика 4.5 Примена активног давача броја обртаја [2]

1 – главчина точка, 2 – котрљајни лежај, 3 – двополни прстен, 4 – давач броја обртаја

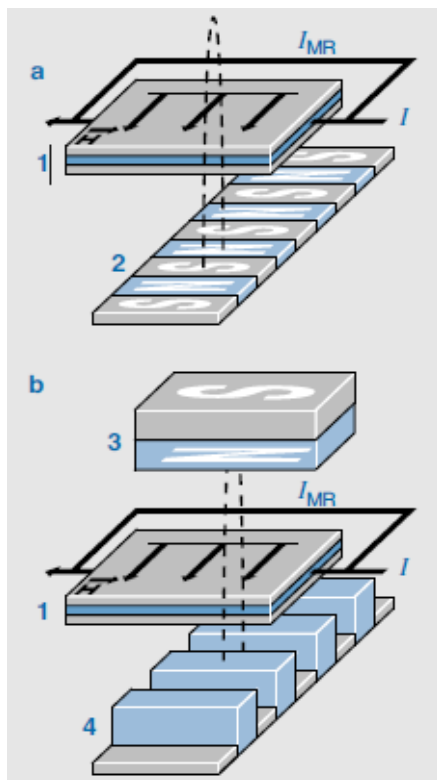
Полови двополног прстена (северни и јужни) врше функцију коју су у прошлости вршили зуби назубљеног точка. Интегрисано електрично коло давача постоји дуж ових

магнета (слике 4.6 и 4.7а), а магнетни флуks кроз ово коло се мења са ротацијом двополног прстена.



Слика 4.6 Поглед на активни давач броја обртаја [2]
1 – осетни елемент давача, 2 - двополни прстен

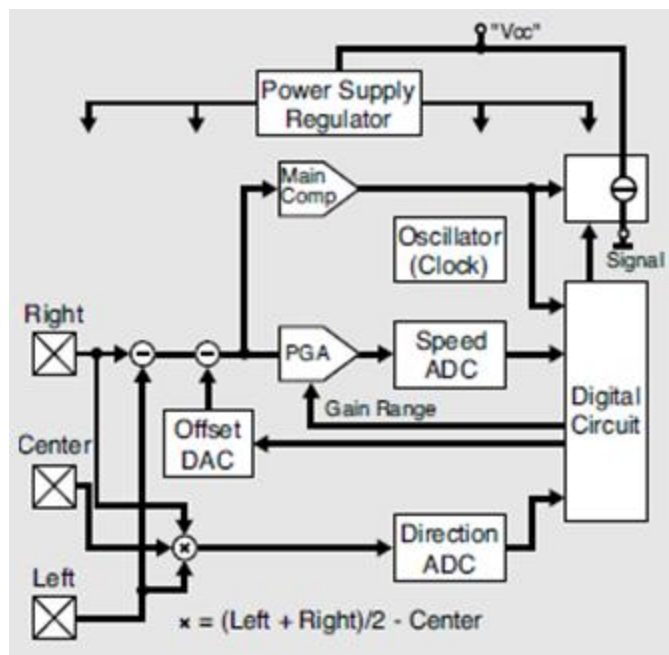
Могуће је уместо двополног прстена користити челични прстен. У овом случају се магнет поставља на *Hall*-ово интегрисано електрично коло, које генерише константно магнетно поље (слика 4.7б). Ротација прстена доводи до варијација у иначе константном магнетном пољу, које се прате и дају податке о броју обртаја точка.



Слика 4.7 Принцип мерења броја обртаја [11]
1 – осетни елемент, 2 – двополни прстен, 3 – магнет, 4 – челични прстен

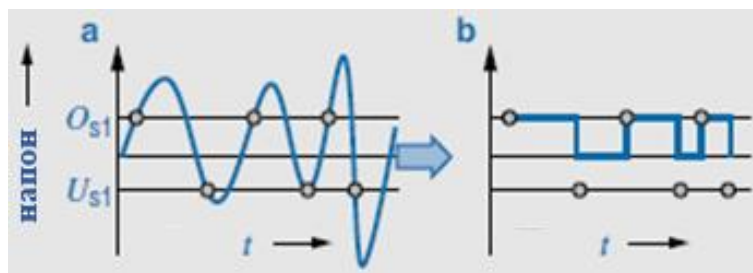
У оквиру активног давача броја обртаја, генерално се примењују *Hall*-ов мерни елемент, појачавач сигнала, као и кондиционер сигнала у интегрисаном колу (слика 4.8).

Интегрисана кола су електронске структуре које садрже велики број елемената. У случају да магнетни флуks магнетног поља делује управно на *Hall*-ов елемент, напон ће бити директно пропорционалан јачини магнетног поља. У супротном је 0.



Слика 4.8 Блок дијаграм *Hall*-овог интегрисаног кола [2]

Слика 4.9 даје приказ конверзије сигнала броја обртаја, из синусоидног у правоугаони облик. Фреквенција сигнала је директно пропорционална брзини обртања точка, а прикупљање података је могуће готово до потпуног заустављања возила.



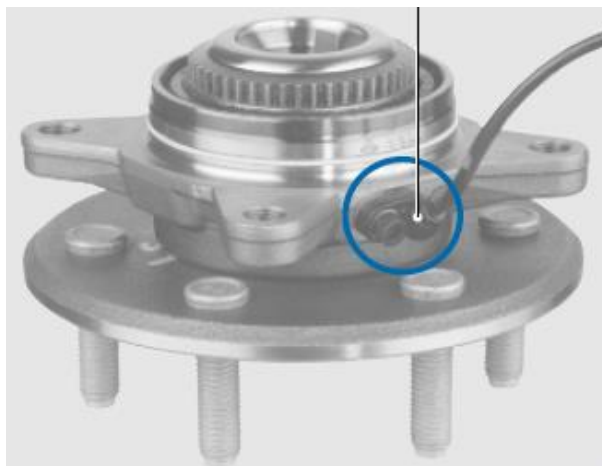
Слика 4.9 Конверзија сигнала у *Hall*-овом интегрисаном колу [2]

а) сирови сигнал, б) излазни сигнал

O_{s1} – горња граница сигнала, U_{s1} – доња граница сигнала

Употреба дигиталних сигнала повлачи и мању могућност интерференција, у поређењу са пасивним индуктивним давачима.

Један активни давач обртаја постављен на лежају точка се може видети на слици 4.10.

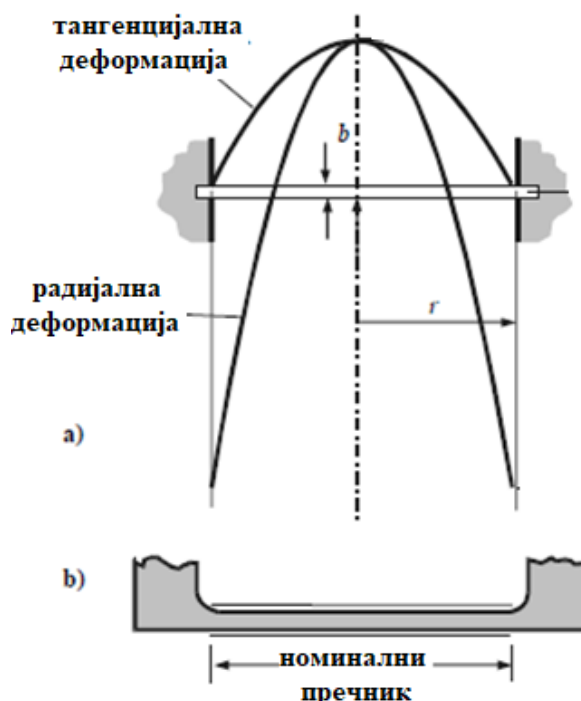


Слика 4.10 Активни давач обртаја постављен на лежају точка [11]

4.1.2 Давач притиска

Давач притиска поседује примарни елемент, најчешће је у питању мембрана, од које зависи мерни опсег, фреквенција и осетљивост давача. Услед деловања притиска долази до деформације мембране, и ова деформација се претвара у електрични излаз давача. Давачи притиска су малих димензија, имају брз одзив, мали хистерезис, отпорни су на механичке ударе и вибрације, и могу се примењивати у широком опсегу температура.

Услед деловања притиска на мембрану, долази до радијалне и тангенцијалне деформације, приказане на слици 4.11.

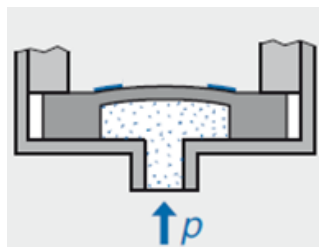


Слика 4.11 Мембрана давача притиска [12]

- a) распоред радијалне и тангенцијалне деформације за учвршћену мембрану
- b) равна мембрана са смањеним радијалним напрезањем

Деформација, тј. издужење мембране се детектује помоћу отпорника постављених непосредно на мембрани, чија отпорност се мења у зависности од механичких напрезања. Отпорници се повезују у *Wheatstone*-ов мост, и мери им се напон.

Један давач притиска се може видети на **слици 4.12**.

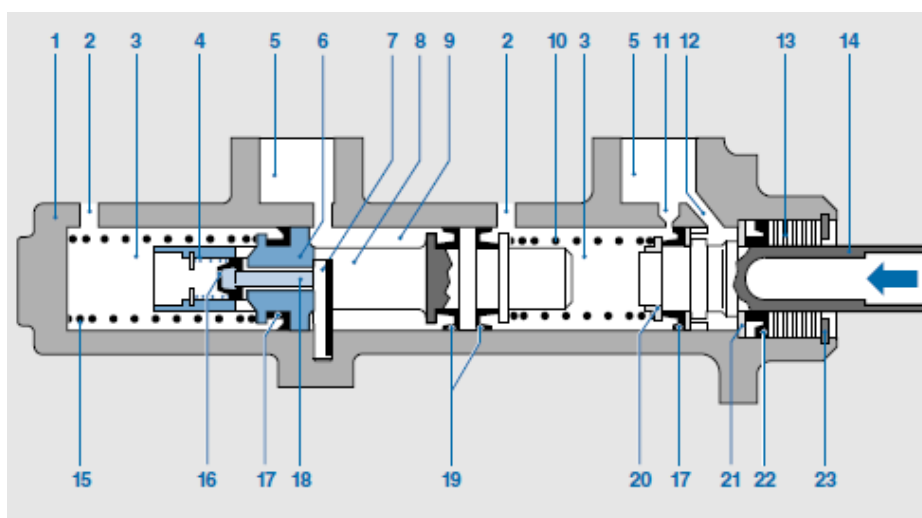


Слика 4.12 Давач притиска [11]

4.2 Актуатори

4.2.1 Главни кочни цилиндар

Главни кочни цилиндар служи за претварање дејства возача на педали кочнице у хидрауличну кочну силу на кочницама. Од произвођача се захтева постојање два главна цилиндра, директно повезаних један за други. Ово доводи до тога да уколико дође до отказа једног од њих, кочни систем и даље несметано функционише захваљујући постојању додатног главног цилиндра, који носи назив тандем-цилиндар. На **слици 4.13** дат је приказ главног цилиндра развијеног за возила која поседују ABS.



Слика 4.13 Главни кочни цилиндар са централним вентилом [2]

- 1 – кућиште цилиндра, 2 – испуст притиска, 3 – комора под притиском, 4 – опруга вентила, 5 – излаз ка резервоару кочне течности, 6 – пливајући клип, 7 – стезни рукавац, 8 – средњи клип, 9 – средња комора, 10 – компресиона опруга, 11 – отвор за балансирање, 12 – ваздушни отвор, 13 – пластични рукавац, 14 – потисни клип, 15 – компресиона опруга, 16 – заптивка вентила, 17 – примарна заптивка, 18 – игла вентила, 19 – изолациона заптивка, 20 – потпорни прстен, 21 – гранични диск, 22 – секундарна заптивка, 23 – осигурач

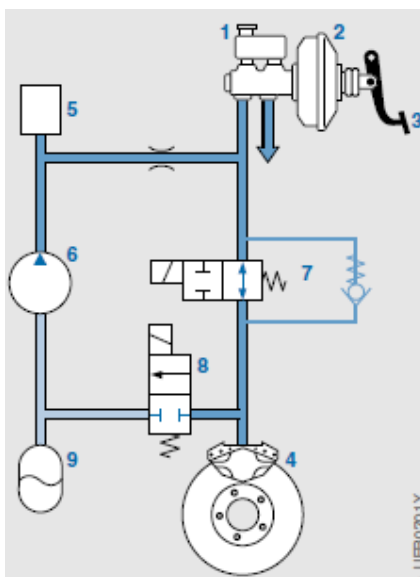
Овај врста цилиндра поседује „пливајући клип“ са интегрисаним централним вентилом који кочној течности, у случају да кочнице нису под притиском, омогућава да струји кроз иглу вентила (18). Резервоар кочне течности и средња комора (9) су директно повезани каналом. Ради повећања безбедности функционисања возила опремљених ABS-ом, препоручује се да главни кочни цилиндар поседује два централна вентила.

Када возач делује да педалу кочнице, то доводи до кретања потисног клипа (14) улево. Он пролази поред отвора за балансирање (11) и коморе под притиском (3), и гура улево пливајући клип (6). Померање пливајућег клипа утиче на заптивку вентила (16), која затвара комору под притиском (3), и то када се потисни клип помери за 1 mm и игла вентила (18) више не лежи на стезном рукавцу (7) и заптивци вентила (16).

Притисак у обе коморе под притиском (3) расте са повећањем силе примењене на педали кочнице. Отпуштање педале доводи до кретања клипова (6 и 14) у десну страну, све до тренутка када се отвори отвор за балансирање (11) или игла вентила (18) притисне стезни рукавац (7) и заптивка вентила (16) се удаљи од пливајућег клипа (6). Ово омогућава враћање кочне течности у резервоар, што резултује престанком кочења.

4.2.2 Хидраулички модулатор

Хидраулички модулатор, чија је принципска шема приказана на **слици 4.14**, садржи више соленоидних вентила, који служе за отварање и затварање хидрауличких кола између главног цилиндра (1) и кочница (4). Поред тога, служи за повезивање повратне пумпе (6) са кочницама. Најчешће се примењују соленоидни вентили са два хидрауличка прикључка и две позиције (отворен/затворен). Свака од кочница садржи по један пар ових вентила. Улазни вентил (7) који је лоциран између главног цилиндра и кочнице, користи се за контролу примењеног притиска. Излазни вентил (8) се налази између повратне пумпе и кочнице и врши смањење притиска.

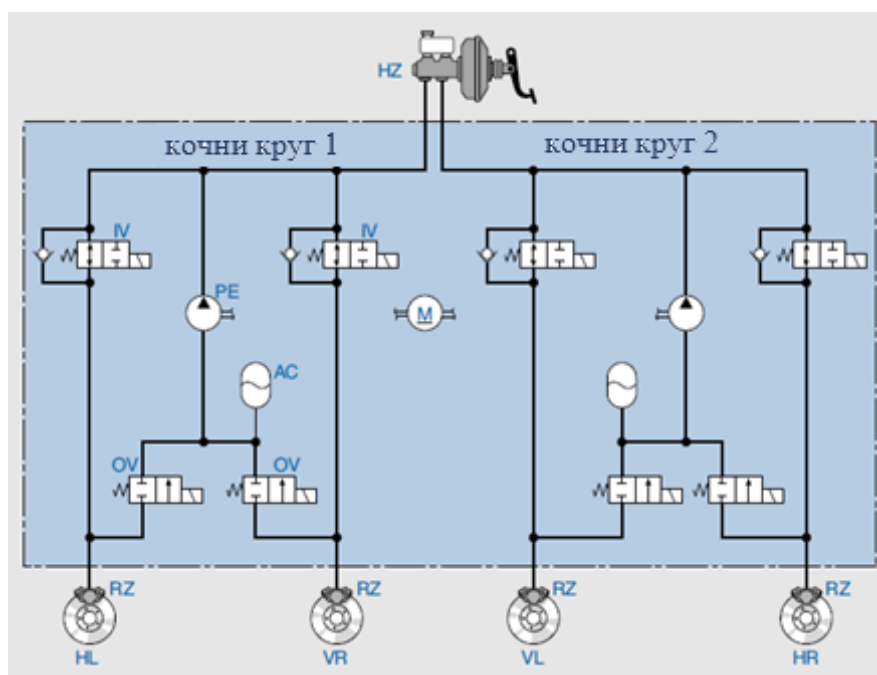


Слика 4.14 Хидраулички модулатор [3]

1 – главни цилиндар са резервоаром кочне течности, 2 – појачавач силе кочења,
3 – педала кочнице, 4 – диск кочница са кочном чељусти, 5 – комора за пригушивање,
6 – повратна пумпа, 7 – улазни вентил, 8 – излазни вентил, 9 – акумулатор
кочне течности

Уколико је у питању 3-канална изведба ABS-а, у оквиру система се постављају 6 вентила, по један улазни и излазни вентил за сваки предњи точак, док се за точкове на задњој осовини постављају заједнички улазни и излазни вентил. У овом случају се притисак примењен на точковима задње осовине одређује на основу једног од точкова који има веће клизање.

Када се ради о 4-каналном ABS-у (слика 4.15), по један улазни и излазни вентил се поставља за сваком од точкова возила, што значи да има 8 вентила, којима је могуће контролисати сваки точак индивидуално.



Слика 4.15 Хидраулична шема хидрауличног модулатора 4-каналног ABS-а [2]

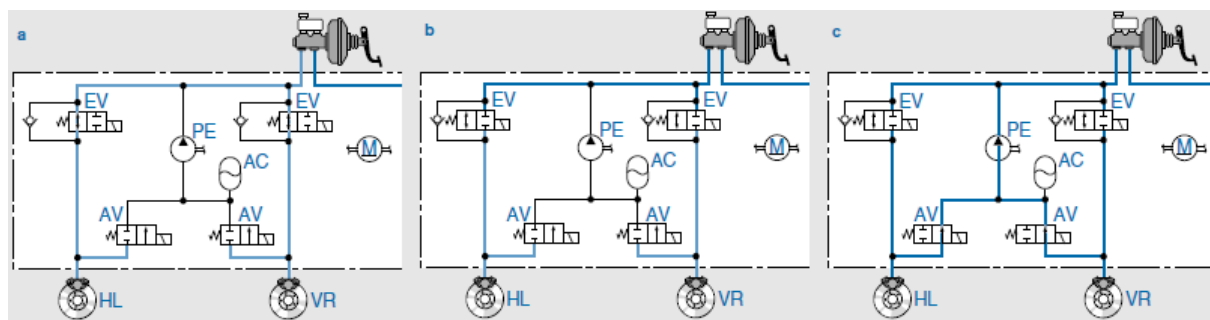
HZ – главни кочни цилиндар, *RZ* – кочни цилиндар точка, *IV* – улазни вентил, *OV* – излазни вентил, *PE* – повратна пумпа, *M* – мотор пумпе, *AC* – резервоар под ниским притиском, *V* – предња осовина, *H* – задња осовина, *R* – десни, *L* – леви

Сликом 4.16 приказан је хидраулички модулатор примењен на возилу *Toyota Yaris*.



Слика 4.16 Хидраулички модулатор примењен на возилу *Toyota Yaris*

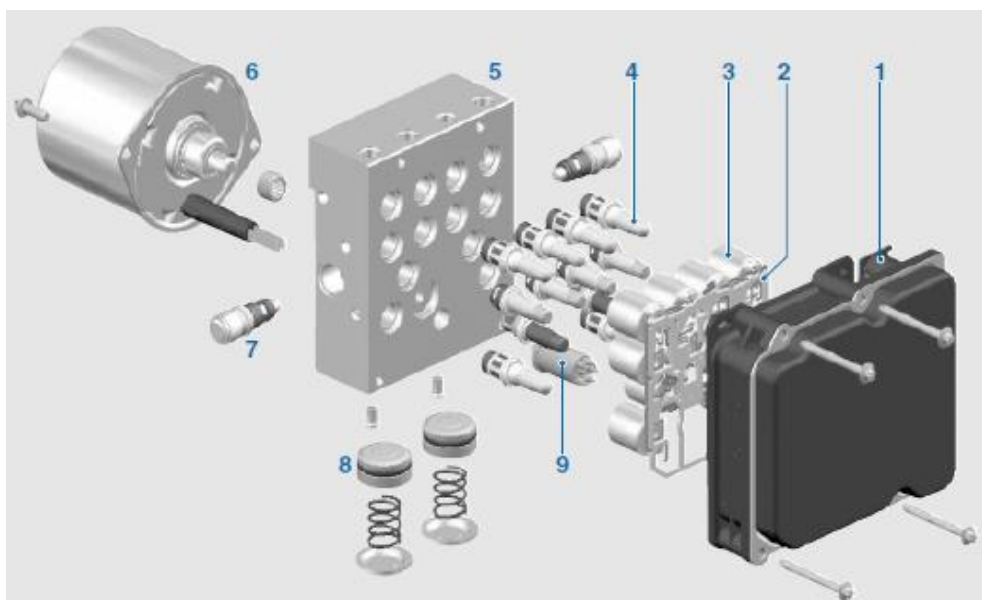
При нормалном функционисању кочног система улазни вентил је отворен (слика 4.17а), и омогућава пренос притиска из главног цилиндра до кочница свих точкова, при дејству возача на педалу кочнице. Када дође до екстремног догађаја, при коме је дошло до блокирања точкова, као што је нагло кочење, улазни вентил се затвара (слика 4.17б), што онемогућава да повећање притиска у главном цилиндру доведе до повећања притиска у кочницама. Уколико и даље постоји могућност блокирања једног или више точкова возила, отвара се излазни вентил, и повратна пумпа повлачи кочну течност из кочница, и не долази до блокирања точкова. У случају да дође до блокирања точка, смањење притиска у кочном цилиндру овог точка врши се отварањем одговарајућег излазног вентила (слика 4.17с).



Слика 4.17 Регулација притиска хидрауличким модулатором [2]

Кочна течност се може, уколико је то неопходно, великом брзином сместити у резервоар под ниским притиском. Повратна пумпа се погони DC мотором, и служи за редукцију притиска који је возач применио на педали кочнице.

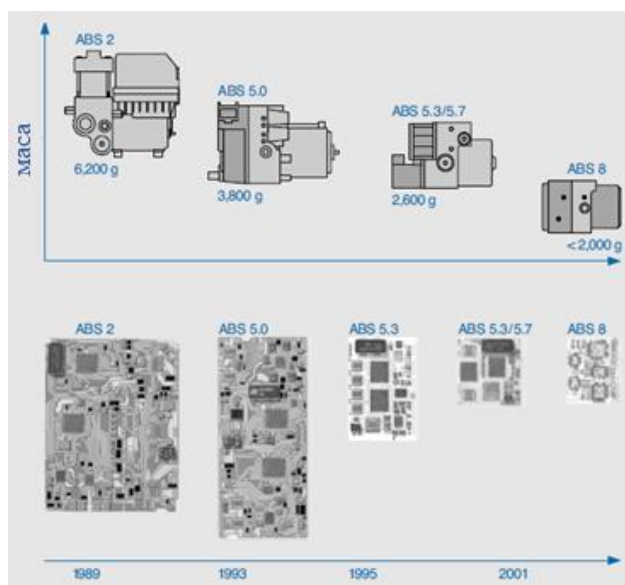
На слици 4.18 се може видети приказ хидрауличког модулатора компаније *Bosch* осме генерације, из 2001-е године.



Слика 4.18 Хидраулички модулатор осме генерације [2]

1 – ЕУЈ, 2 – електрична мрежа калема, 3 – соленоидна група, 4 – соленоидни вентили, 5 – алуминијумски блок, 6 – DC мотор, 7 – клипна пумпа, 8 – резервоар под ниским притиском, 9 – давач притиска

Слика 4.19 представља илустрацију историјског развоја хидрауличног модулятора и ABS-а. Маса модулятора је са сваком наредном генерацијом постепено опадала, док је снага повећавана. Имплементирани су новоразвијени давачи, соленоидни вентили, хибридна и интегрисана кола са микроконтролерима, а тестирање хидрауличких и електронских компоненти се обавља одвојено, са повећаним нивоом тачности.



Слика 4.19 Историјски развој хидрауличног модулятора и ABS-а [2]

4.3 Електронска управљачка јединица

ЕУЈ служи за обраду сигнала које дају разни давачи, у складу са унапред дефинисаним контролним алгоритмима. На основу прорачуна које обавља формирају се контролни сигнали који се затим шаљу хидрауличком модулятору. Такође, врши се провера исправности свих компоненти управљачког система и у случају неисправности, неисправност се сигнализира помоћу одговарајуће сигналне лампе на инструмент табли возила.

Квар давача ABS система најчешће је проузрокован излагању нечистоћама на путу. Како би се обезбедило оптимално функционисање давача, неопходно је вршити преглед и чишћење истих, и то у интервалима наведеним у упутствима за употребу. Возач се обавештава о неисправности давача путем неке од сигналних лампица на инструмент табли, приказаних на **слици 4.20**.



Слика 4.20 Сигналне лампице ABS-а [2]

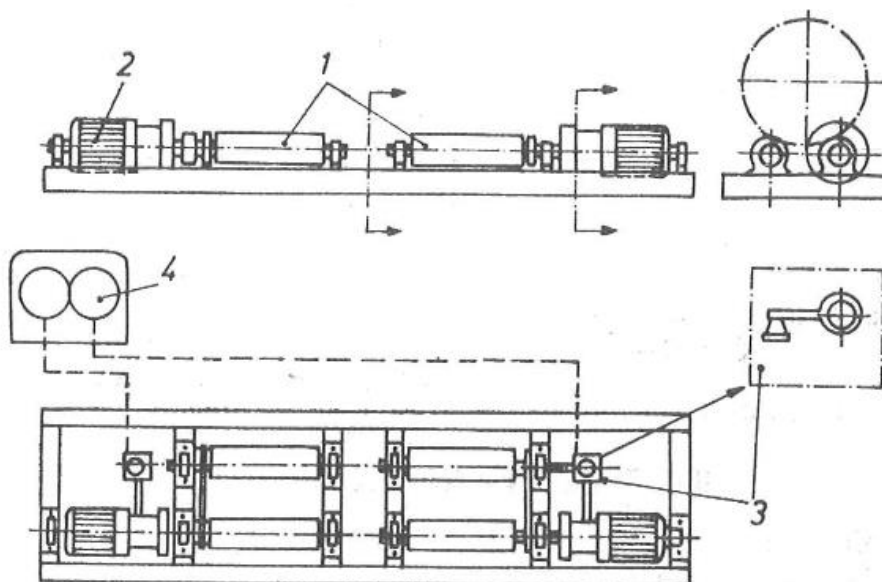
При укључењу сигналне лампице, могуће је да проблем не лежи у давачу, већ нпр. у конекторима, који због квара нису у могућности да пренесу потребне сигнале ЕУЈ.

5. МЕТОДЕ ПРОВЕРЕ КОЧНИХ ПЕРФОРМАНСИ ВОЗИЛА СА ЕЛЕКТРОНСКИ СИСТЕМИМА УПРАВЉАЊА КОЧНИМ СИСТЕМОМ ВОЗИЛА НА ВАЉЦИМА И У ВОЖЊИ

5.1 Испитивање на ваљцима

Ваљци су једноставни уређаји за проверу ефикасности кочних система, које возило преко пнеуматика кочи својим кочницама. Ваљке покреће електромотор, па овако изазвана оптерећења електромотора одражавају меру кочних момената на појединачним точковима или осовинама, а тиме и меру кочних перформанси возила.

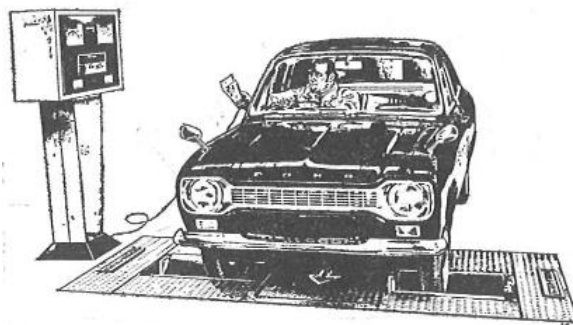
Шема лабораторијских ваљака за испитивање кочних система дата је **сликом 5.1**. На шеми се јасно види да се уређај састоји од ваљака (1), које покреће електромотор (2).



Слика 5.1 Лабораторијски ваљци [1]

Електромотор је ослоњен на тај начин да преко полужног система (3) пружа могућност мерења кочног момента, очитавањем на инструменту (4).

Сликом 5.2 дат је приказ возила које се испитује на ваљцима.



Слика 5.2 Возило на ваљцима [1]

Испитивања на кочним ваљцима могу пружити само врло грубе представе о стварним кочним способностима возила, односно о квалитету његовог кочног система. Узрок грешака јесу првенствено нереални услови приањања, затим мале брзине кретања (испитивања се обично обављају при броју обртаја ваљака који одговара брзини кретања од 3 до 6 km/h), као и нереално налагање точкова на тло (у питању су кружне површине, релативно малог пречника, што доводи до „заглављивања“ коченог точка између ваљака на које належе). Једноставност поступка ипак чини оваква испитивања прикладним за техничке прегледе и потребни ниво информација. У овом раду овај поступак због постојећих недостатака није коришћен.

5.2 Испитивање у вожњи

Испитивање кочних перформанси при вожњи возила опремљеног ABS-ом извршено је на путничком аутомобилу *Toyota Yaris* из 2004-е године. Приликом испитивања коришћен је уређај под називом *DriftBox*. У питању је уређај на бази GPS-а који се може користити за мерење брзине, времена убрзања, кочног пута, времена преласка етапа и многих других перформанси возила при кретању. Лако руковање уређајем и промена мерних опсега чине га примењивим у великом броју тестирања возила.

Уређај садржи интегрисану антену, компактне је величине и монтирање на возилу (слика 5.3) је веома лако. Сви забележени подаци о перформансама возила се меморишу десет пута у секунди на SD меморијској картици.



Слика 5.3 Уређај *DriftBox* постављен на возилу

Табела 5.1 пружа приказ техничких спецификација уређаја *DriftBox*.

Табела 5.1 Техничке спецификације уређаја DriftBox [13]

Брзина					
Тачност	Јединица	Стопа ажурирања	Максимална брзина	Минимална брзина	Резолуција
0.1 km/h	km/h	10 Hz	1600 km/h	0.1 km/h	0.01 km/h
Удаљеност					
Тачност	Јединица	Стопа ажурирања		Резолуција	Тачност висине
0.05% (<50 cm/km)	m	10 Hz		1 cm	10 m
Апсолутно позиционирање			Време		
Тачност	Стопа ажурирања	Резолуција	Тачност	Резолуција	
5 m	10 Hz	1 cm	0.1 s	0.1 s	
Правац			Напајање		
Тачност	Резолуција		Опсег улазног напона	Јачина струје	
0.1°	0.01°		6 – 28 V	100 mA	
Убрзање					
Тачност	Максимум	Стопа ажурирања	Резолуција		
1 %	40 m/s ²	10 Hz	0.01 m/s ²		
Физичке и температурне карактеристике					
Маса	Димензије	Радна T		T складиштења	
225 g	113 x 63 x 93 mm	-20 ÷ +50 °C		-30 ÷ +80 °C	
Меморија					
Тип			Време снимања		
SD картица			Зависно од капацитета картице (приближно 1.1 Mb по часу)		

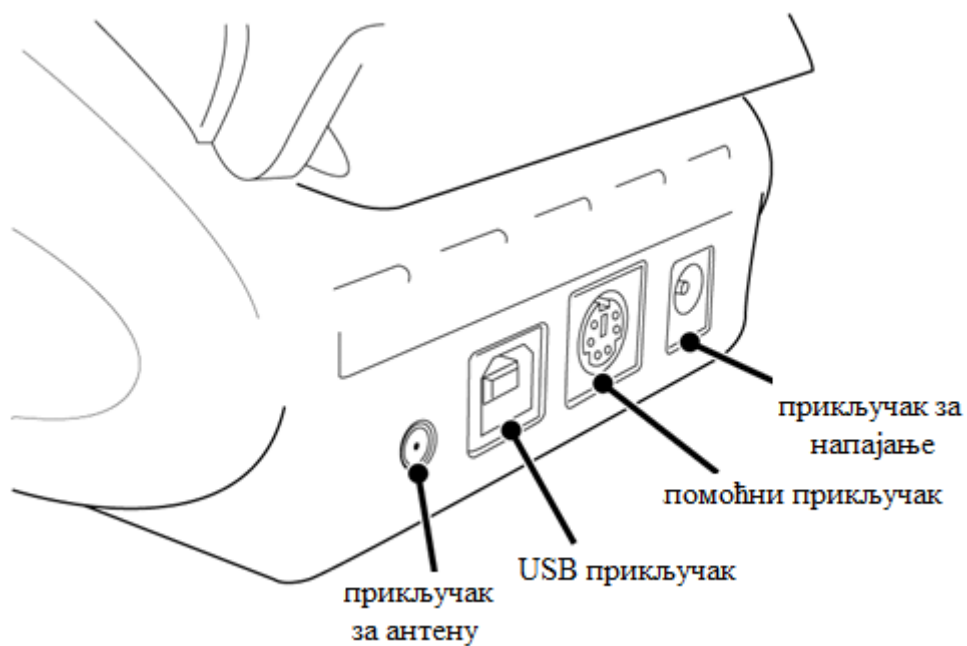
Како би се извршило постављање уређаја на возило, потребно је обавити следеће кораке:

- 1) Поставити уређај у носач.
- 2) Монтирати склоп уређаја и носача на ветробранско стакло, помоћу гумених причвршћивача, као што се може видети на **слици 5.4**. Пожељно је монтирање по средини сталка, у доњем делу.
- 3) Пошто *DriftBox* садржи интегрисану GPS антену, потребно је поставити га тако да има највећи могући поглед на небо.
- 4) Паркирати возило на отвореном простору, без високог дрвећа и зграда.
- 5) Повезати уређај са возилом помоћу кабла за напајање, чији је прикључак дат **сликом 5.5**, путем утичнице упаљача у возилу (**слика 5.6**).

- 6) Приликом првог коришћења *DriftBox*-а потребно је оставити га да мирује од 10 до 15 минута, како би прикупио најновије податке од сателита.
- 7) Приликом сваког наредног укључивања уређаја, неопходно је свега 1-2 минута како би се повезао са сателитима.
- 8) Сачекати да нестане симбол сателита са дисплеја, што значи да је повезивање извршено успешно, и могуће је мерење перформанси возила.



Слика 5.4 Гумени причвршћивачи



Слика 5.5 Прикључци за повезивање уређаја [13]



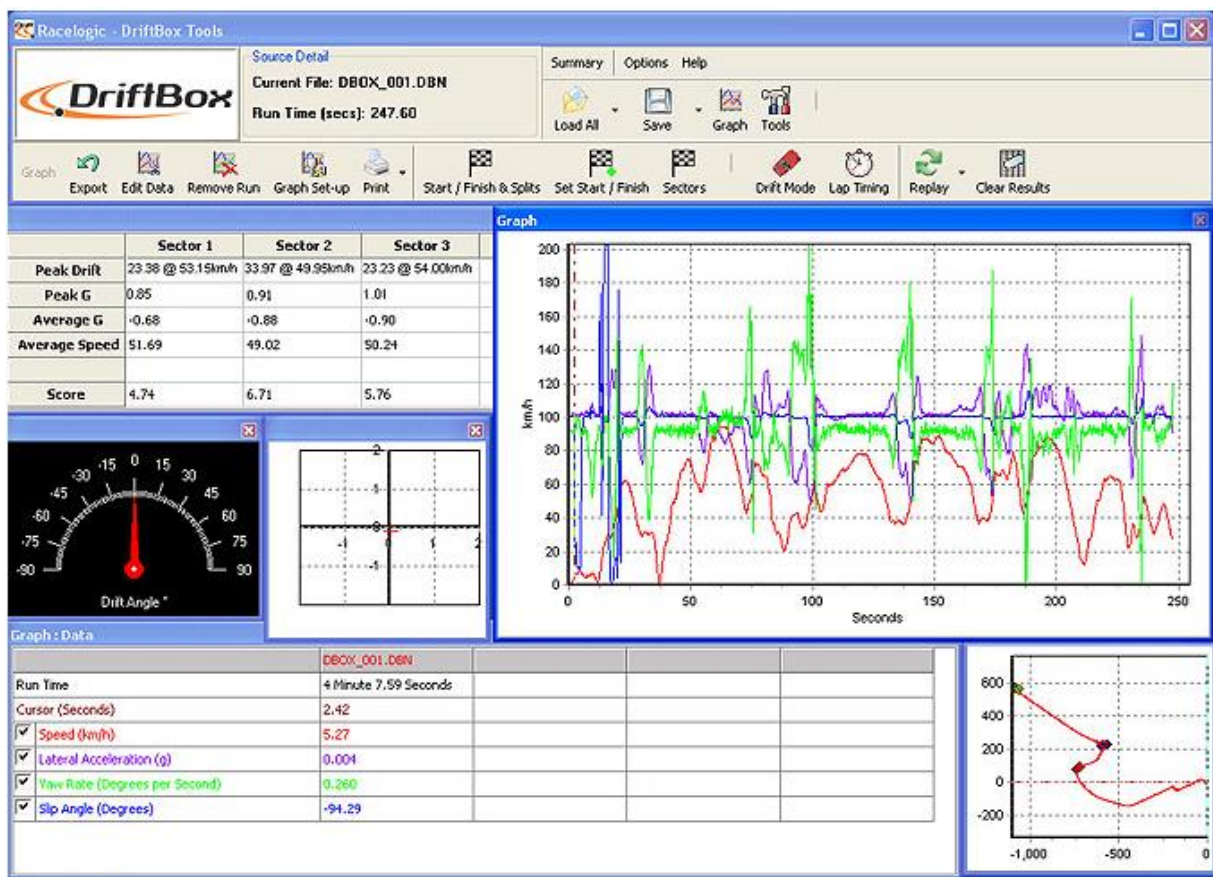
Слика 5.6 Повезивање путем утичнице упаљача у возилу

Табела 5.2 илуструје функције тастера уређаја *DriftBox*.

Табела 5.2 Функције тастера уређаја *DriftBox* [13]

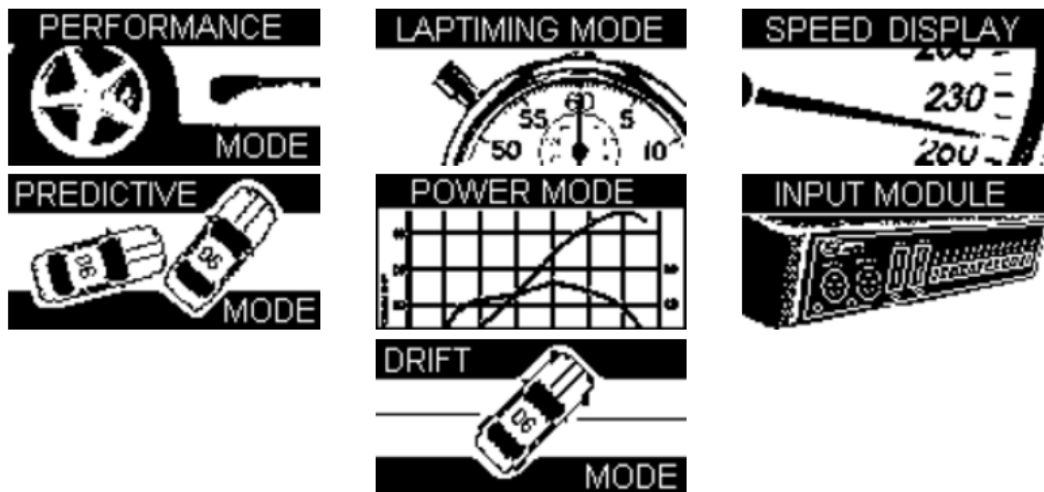
	Навигација у оквиру менија		Промена режима рада
	Одабир ставке у оквиру менија		Приступ менију / излазак из менија
	Навигација у оквиру менија		Притисак 1.5 s – брисање укупних, просечних и максималних вредности. Притисак 5 s – брисање свих подешавања и забележених вредности

Уз уређај долази и одговарајући софтвер (**слика 5.7**), који се одликује једноставношћу и могућношћу израде извештаја, који пружају јасне резултате, који разумевање и сложених података чине лаким.



Слика 5.7 Интерфејс софтвера [14]

У зависности од одабраног режима рада уређаја (слика 5.8), врши се мерење различитих величина.

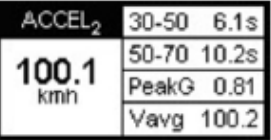
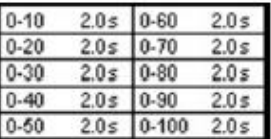
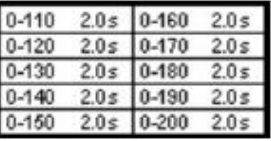
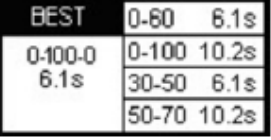
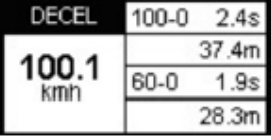
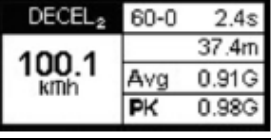
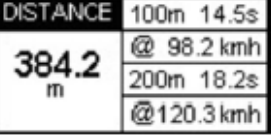
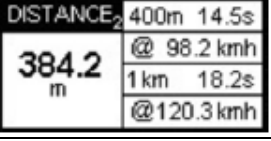
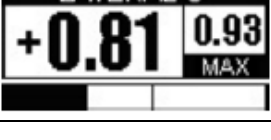


Слика 5.8 Режији рада уређаја DriftBox [13]

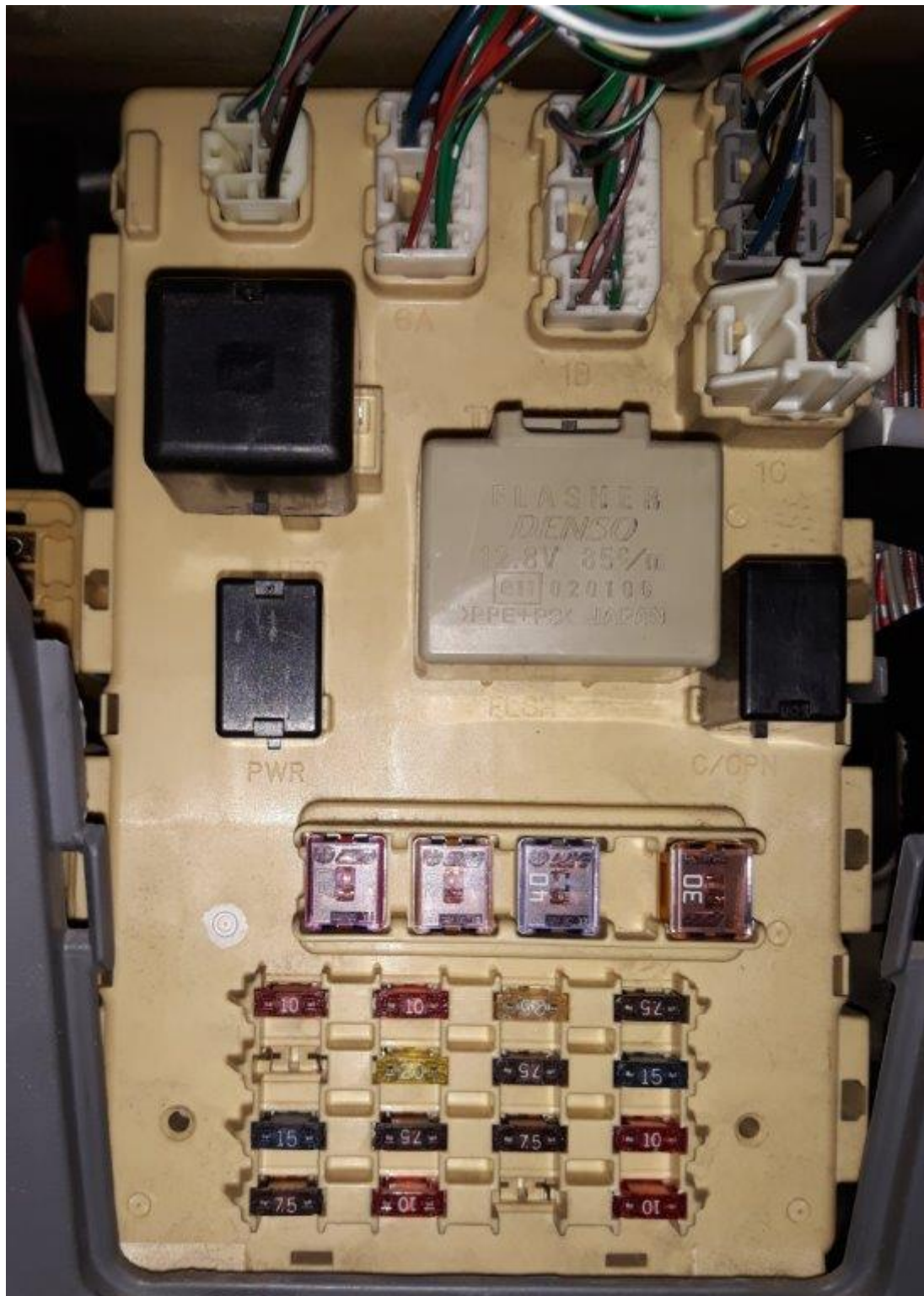
Режим под називом *Performance* је од значаја при испитивању кочних перформанси возила опремљеног антибломирајућим кочним системом. Приликом испитивања је могуће непосредно пратити перформансе преко дисплеја уређаја.

Табелом 5.3 приказани су различити подаци који се могу прегледати током испитивања, у оквиру *Performance* режима.

Табела 5.3 Подаци у оквиру Performance режима [13]

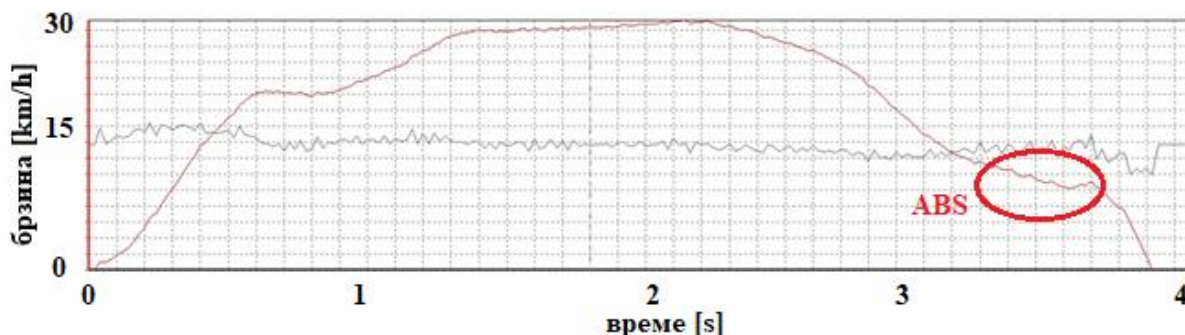
	Лева страна даје приказ тренутне брзине, а десна времена достизања постављених опсега, као максималне брзине.
	Приказ времена убрзања 30-50 km/h и 50-70 km/h (могуће је мењати ове границе), максималне бочне силе и просечне вредности брзине.
	Времена потребна за достизање одређених брзина, све до 100 km/h.
	Времена потребна за достизање одређених брзина, од 110 до 200 km/h.
	Најбољи резултати тестова убрзања.
	Времена и дужине пута успорења. Опсеге ових брзина корисник може модификовати.
	Поред времена и дужине пута успорења, могуће је приказати и просечно и максимално успорење.
	Крајње брзине и потребна времена за прелажење удаљености дефинисаних од стране корисника, нпр. 100 и 200 m.
	Крајње брзине и потребна времена за прелажење удаљености дефинисаних од стране корисника, нпр. 400 m и 1 km.
	Тренутно и максимално успорење, уз графички приказ помоћу ступца у доњем делу. Притисак на тастер RESET брише максималну забележену вредност.
	Исто као изнад, само што је у питању успорење.
	Исти подаци као у претходна два реда, само што је сада реч о бочном убрзању.

Деактивација ABS-а учињена је уклањањем одговарајућих осигурача из кутије осигурача која се налази у моторном простору, која се може видети на **слици 5.9**.

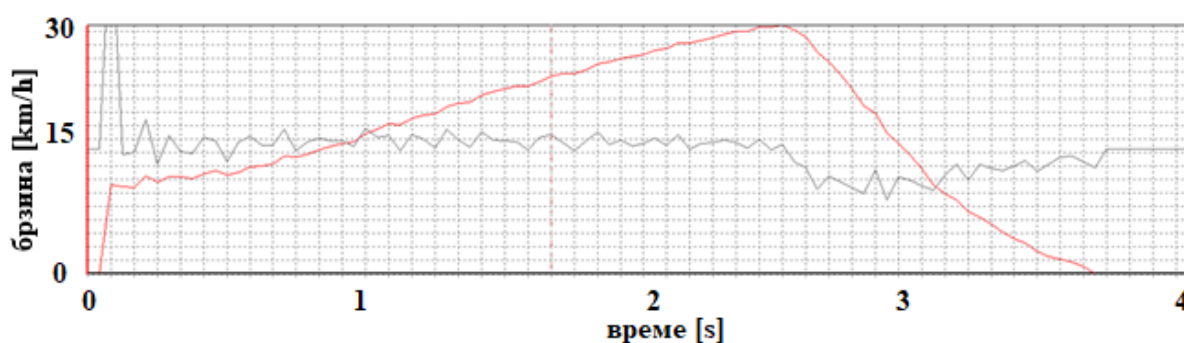


44

На сликама са редним бројевима од 5.10 до 5.15 кривама црвене боје илустровани су профили брзине возила приликом мерења, док криве црне боје показују убрзање возила.



Слика 5.10 Профили брзине и убрзања при наглом кочењу при брзини од 30 km/h са активним противблокирајућим кочним системом

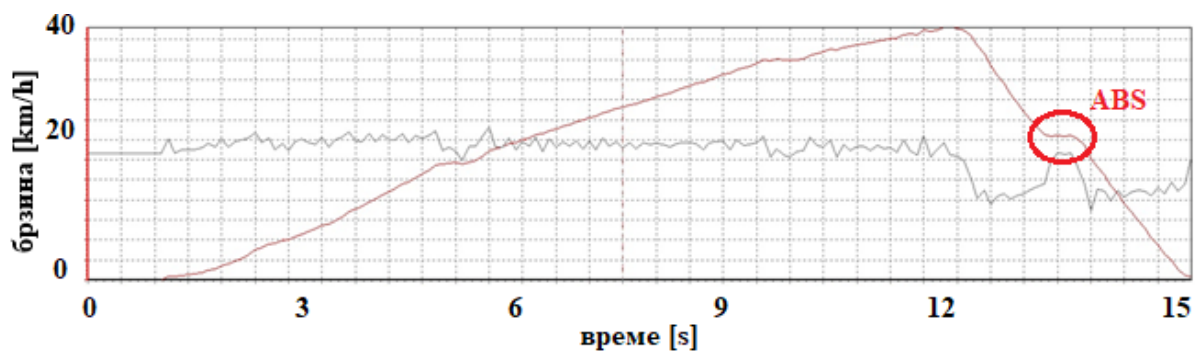


Слика 5.11 Профили брзине и убрзања при наглом кочењу при брзини од 30 km/h са неактивним противблокирајућим кочним системом

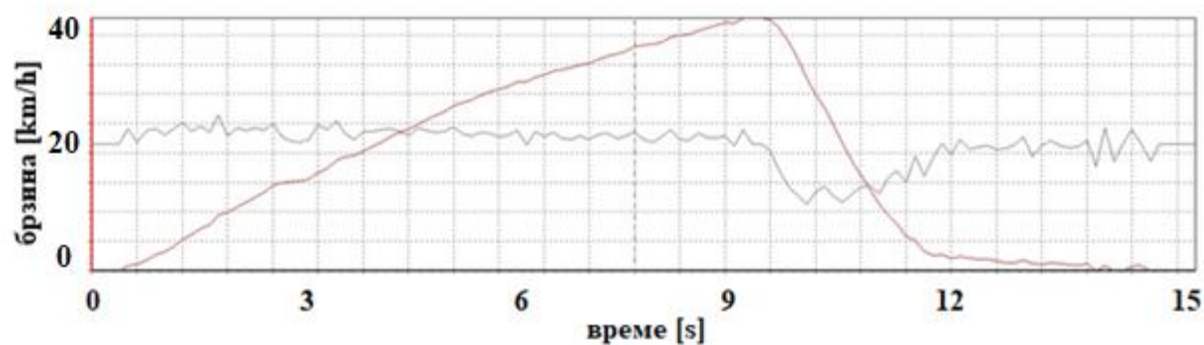
Слике 5.10 и 5.11 јасно показују разлику у кочним перформансама возила при наглом кочењу када је противблокирајући систем активан и када то није случај. Деловање поменутог система доводи до пулсирања педале кочнице (слика 5.10), што резултује великим бројем осцилација брзине возила у јако кратком временском року.

Слика 5.11 пружа илустрацију чињенице да се брзина кретања возила при наглом кочењу без активног противблокирајућег дејства кочног система смањује линеарно. Обе слике показују да при наглом кочењу, што је и очекивано, долази до наглог успорења возила.

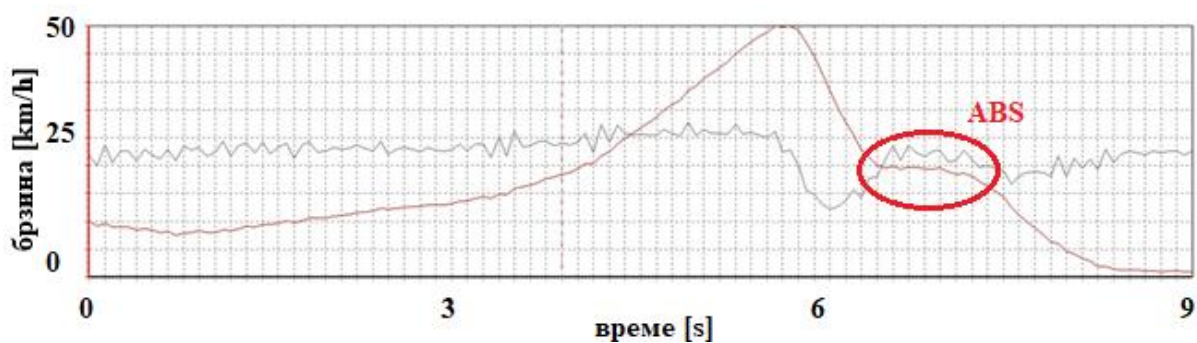
Слике 5.12 и 5.13, као и 5.14 и 5.15 такође доводе до сличних закључака, само што је у овим случајевима нагло кочење вршено при брзинама кретања возила од 40 km/h, односно 50 km/h.



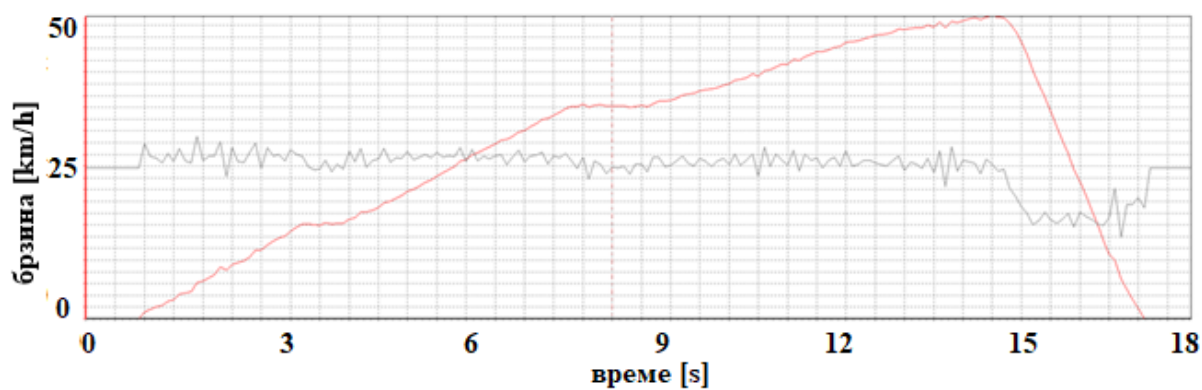
Слика 5.12 Профили брзине и убрзања при наглом кочењу при брзини од 40 km/h са активним противблокајућим кочним системом



Слика 5.13 Профили брзине и убрзања при наглом кочењу при брзини од 40 km/h са неактивним противблокајућим кочним системом



Слика 5.14 Профили брзине и убрзања при наглом кочењу при брзини од 50 km/h са активним противблокајућим кочним системом

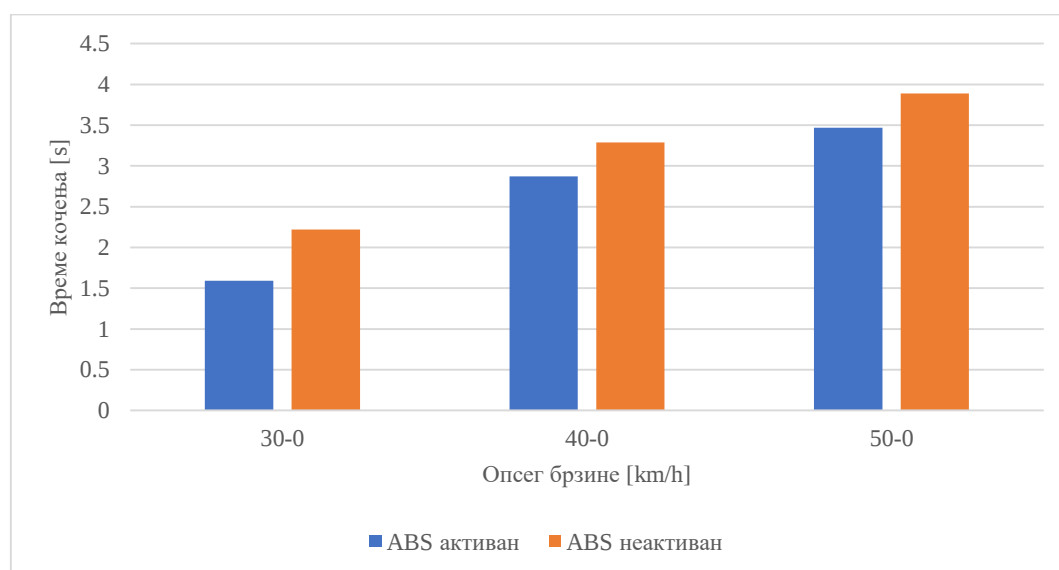


Слика 5.15 Профили брзине и убрзања при наглом кочењу при брзини од 50 km/h са неактивним противблокајућим кочним системом

Табеле 5.4, 5.5 и 5.6, као и дијаграми дати сликама 5.16, 5.17 и 5.18 приказују резултате времена кочења, успорења и зауставног пута при различитим брзинама у тренутку наглог кочења.

Табела 5.4 *Време кочења*

Опсег брзине [km/h]	Време кочења [s]	
	ABS активан	ABS неактиван
30-0	1.59	2.22
40-0	2.87	3.29
50-0	3.47	3.89

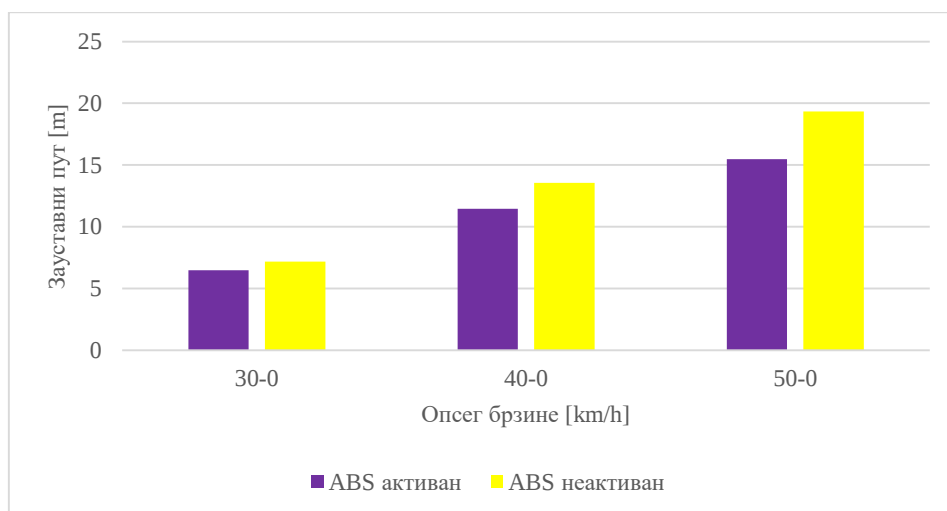


Слика 5.16 *Дијаграм времена кочења при различитим брзинама кретања возила*

Упоредивање времена кочења потребног за потпуно заустављање испитиваног возила наглим кочењем, при датим брзинама, доводи до закључка да је просечно потребно приближно 17.3 % мање времена уколико је противблокирајући кочни систем активан.

Табела 5.6 *Зауставни пут*

Опсег брзине [km/h]	Зауставни пут [m]	
	ABS активан	ABS неактиван
30-0	6.49	7.18
40-0	11.46	13.56
50-0	15.47	19.35

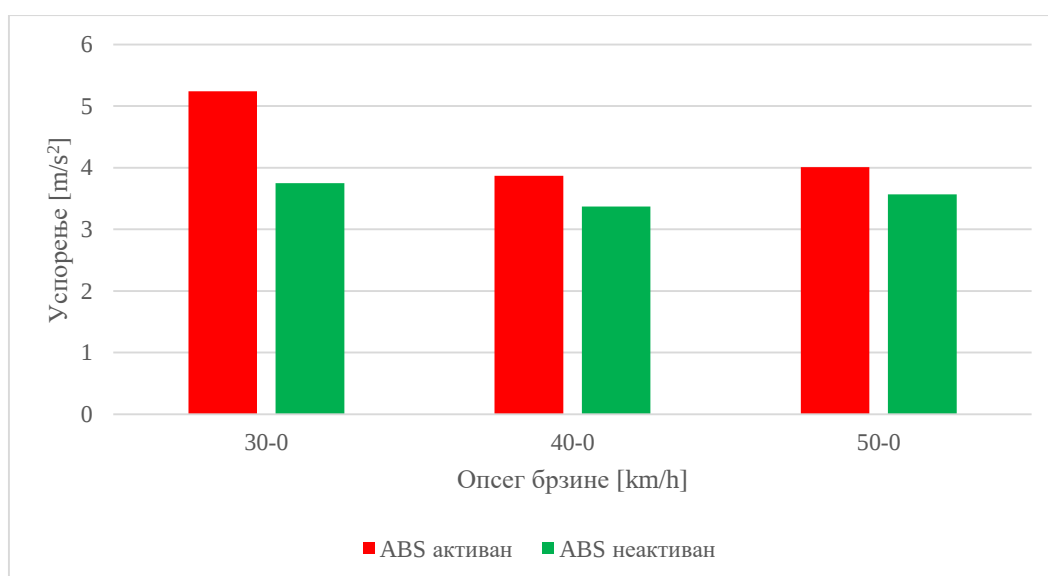


Слика 5.17 Дијаграм кочног пута при различитим брзинама кретања возила

Из **слике 5.17** следи да је при датим брзинама кочни пут до потпуног заустављања испитиваног возила наглим кочењем просечно био краћи за 15 % када је противблокарајући систем био активан, него када то није био случај.

Табела 5.17 Успорјење

Опсег брзине [km/h]	Успорјење [m/s ²]	
	ABS активан	ABS неактиван
30-0	5.24	3.75
40-0	3.87	3.37
50-0	4.01	3.57



Слика 5.18 Дијаграм успорења при различитим брзинама кретања возила

Дијаграм који је илустрован **сликом 5.18** говори да је деактивација противблокарајућег кочног система на испитиваном возилу довела до просечног пада вредности успорења у износу од 18 %.

6. ЗАКЉУЧАК

Кочни систем је веома значајан део свих моторних возила, који у многоне утиче на њихову функцију и квалитет. Кочни систем омогућава прекид кретања, тј. заустављање возила. Поред заустављања, кочни систем омогућава кориговање брзине кретања у складу са условима саобраћаја, жељама возача и др. До кочења возила долази услед деловања кочног момента у смеру супротном од обртања точка.

Током кретања возила јавља се клизање точкава, односно јавља се разлика између удаљености коју возило у теорији треба да пређе за одређено време и удаљености коју оно пређе у стварности. Случај чистог клизања доводи до потпуног престанка обртања точка, тј. до блокирања истог.

Блокирање точка доводи до губитка контроле кретања возила, што представља велику опасност са становишта безбедности саобраћаја. Клизање и блокирање точкава представљају основне разлоге за увођење антиблокирајућих кочних система.

Приањање означава меру квалитета споја точка и подлоге, то је заправо однос нормалне и максималне тангенцијалне реактивне силе на точку. Приањање точка обезбеђује пренос кочне силе на исти, а самим тим и редукцију брзине возила и његово заустављање. Тежи се постизању што веће вредности приањања, која обезбеђује преношење веће вредности погонске силе, као и повећану стабилност возила у току вожње.

Најповољније је да процес кочења не буде праћен блокирањем точкава. Уколико је то неизбежно, повољније је да прво блокирају предњи точкови. Одавде следи захтев да решење кочног система обезбеђује претходно блокирање предњих точкава.

Главна сврха ABS-а је препознавање могућности блокирања једног или више точкава при наглом кочењу, и адекватно кориговање притиска у кочницама. Уколико је обимна брзина точка мања од брзине возила, ABS смањује притисак у кочном цилиндру датог точка. У случају да се неки точак креће брзином већом од осталих, долази до повећања притиска у његовом кочном цилиндру, што ће довести до лакшег управљања и заустављања возила.

Противблокирајући кочни системи раде у затвореној петљи. Потребно је обављање одређених мерења карактеристика процеса кочења (транслаторне брзине возила, угаоне брзине точкава, клизања точкава, коефицијента приањања,...) како би се обављало управљање у затвореној петљи. На возилу се користе давачи угаоне брзине точкава, на основу чијих сигнала се врши израчунавање транслаторне брзине возила и клизање точкава. Поред давача угаоне брзине, ABS садржи и даваче притиска на точковима и хидраулички модулатор, који врши корекцију притиска у кочним цилиндрима точкава.

Извршено испитивање кочних перформанси возила у току вожње, при наглом кочењу до потпуног заустављања, показало је да употреба противблокирајућег кочног система доводи до пада вредности времена кочења и кочног пута, као и до повећања успорења возила.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тодоровић Ј., *Кочење моторних возила: теорија, пројектовање, одржавање, испитивање*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1988.
- [2] Reif K., *Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems*, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
- [3] Kost F., Koch-Dücker H.J., Niewels F., Schuh J., Ehret T., Wagner J., Papert U., Heinen F., Eberspächer P., *Driving Stability Systems*, Robert Bosch GmbH, Немачка, 2005.
- [4] Dankan V.G., Ramachandra A.C., *Importance of Non-Linear Controller in Implementing Anti-Lock Braking System - A Technical Review*, International Journal of Advanced Research in Computer Science, Volume 9, No. 2, 2018.
- [5] Kiencke U., Nielsen L., *Automotive Control Systems*, Springer Berlin Heidelberg New York, 2005.
- [6] Тарановић Д., *Електрични и електронски системи на МВ - скрипта*, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, 2013.
- [7] Day T., Roberts S., *A Simulation Model for Vehicle Braking Systems Fitted with ABS*, Society of Automotive Engineers, 2002.
- [8] Robert Bosch GmbH, *Bosch Driving-safety systems*, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1999.
- [9] Garrett T.K., Newton K., Steeds W., *The Motor Vehicle*, Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 2001.
- [10] Techmate, *Technical guide: ABS Sensors*, Bristol, UK, 2017.
- [11] Robert Bosch GmbH, *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics*, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2007.
- [12] Поповић М., *Сензори и мерења*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, Босна и Херцеговина, 2004.
- [13] *DriftBox Manual*, Racelogic Ltd, Buckingham, UK, 2013.
- [14] *DRIFTBOX*, интернет адреса: <https://www.vboxmotorsport.co.uk/index.php/en/products/performance-meters/driftbox#driftbox-tools>, приступљено: 01/10/2019.