

МЈЕРНО – УПРАВЉАЧКИ МОДУЛИ КОЧИОНОГ СИСТЕМА ВОЗИЛА MEASURING – CONTROL MODULES OF THE AUTOMOTIVE BRAKING SYSTEM

Сања Бјелић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МЕРНИ СИСТЕМИ

Кратак садржај – У овом раду описан је начин рада и компоненте електронских кочионих система возила. Описана је еволуција кочионих система од механичких до електронских кочионих система, као и њихових подсистема. Приказана је цјелокупна архитектура са примјерима алгоритама који се користе. Направљен је осврт на тестирање дијелова као и читавог система, у лабораторијама и на возилима да би се доказала исправност и ефикасност.

Кључне речи: Мјерење, управљање, кочиони систем, возила

Abstract – This paper describes the operation method and components of electronic braking systems on vehicles. The evolution of braking systems from mechanical to electronic braking systems, as well as their subsystems, is described. The entire architecture is presented with examples of the algorithms used. A review was made of the testing of parts as well as the entire system, in laboratories and on vehicles to prove correctness and efficiency.

Keywords: Measuring, controlling, braking system, vehicle

1. УВОД

Електронски кочиони системи представљају један од кључних технолошких напредака у аутомобилској индустрији омогућавајући прецизну контролу кочења путем електронске обраде података у реалном времену. Сензори прикупљају податке о стању возила, који се затим обрађују у микропроцесору. Микропроцесор, користећи софистициране алгоритме, на основу прикупљених података генерише одговарајуће команде за актуаторе.

Први кочиони системи били су потпуно механички, користећи једноставне механичке везе и силе трења. Увођењем хидрауличних система, почетком 20. вијека, кочење је постало ефикасније и поузданије јер је хидраулична течност омогућила равномјерну дистрибуцију силе кочења на све точкове. Међутим, повећањем брзине возила и захтјева за сигурношћу била су потребна додатна побољшања. Развој електронских кочионих система је почео средином 20. вијека увођењем првих ABS система.

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Платон Совиљ, ред. проф.

Електронски кочиони системи омогућавају прецизну контролу кочења, као и смањење зауставног пута те омогућава возилу да боље РЕАГУЈЕ на хитне ситуације. Захваљујући електронским кочионим системима отвориле су се могућности за побољшање регенеративног кочења у електричним и хибридним возилима.

2. ПРЕГЛЕД КОЧИОНИХ СИСТЕМА

2.1 Традиционални кочиони системи

Механички кочиони системи су први тип кочионих система коришћених у возилима. Једноставни су за конструисање, што их чини и јефтиним за производњу. Међутим, механички кочиони системи имају и велике недостатке као што је ограничена ефикасност кочења јер механички пренос силе није тако ефикасан као хидраулични или електронски систем.

Бубањ (добош) кочнице су старији тип кочионог система, уведен почетком 20. вијека. Систем користи ротирајући бубањ причвршћен за облоге унутар бубња. Функционисање се заснива на кориштењу хидрауличне течности која преноси силу притиска од папучице до кочионих облога. Релативно су једноставни и јефтини за производњу. Један од главних недостатака ових кочионих система јесте склоност прегријавању.

Хидраулични системи су развијени почетком 20. вијека и користе хидрауличну течност за пренос притиска са папучице кочнице на кочионе цилиндри и тако омогућава ефикасније кочење у поређењу са механичким кочионим системима. Поред тога, равномјерна дистрибуција притиска на све кочнице резултује стабилнијим и контролисанијим кочењем. Један од главних проблема хидрауличних система је цурење течности. Ово су најраспрострањенији кочиони системи и данас.

Диск кочнице функционишу помоћу ротирајућег диска причвршћеног за точак возила и кочионих плочица које притишћу диск са обје стране како би створиле трење. Дизајниране су тако да омогуће ефикасну дисипацију топлоте и постале су стандард за предње кочнице.

Серво кочнице и двокружни кочиони систем настали су као еволуција хидрауличних система. Двокружни кочиони системи се користе да би се осигурала зауставна сила и ако се кочнице оштете јер предње и задње кочнице раде одвојено. Ако се оштети нпр. линија за довод уља према задњим кочицама и уље исури, још увијек ће постојати могућност кочења предњим кочицама. Један од значајнијих напредака у хидрауличним системима јесу серво кочнице. Мада

постоји мала конструктивна разлика у односу на класичне хидрауличне системе, резултати које дају сервохидраулични системи су веома велики. Он има једну нову компоненту која се зове серво појачавач. Овај систем користи вакуум из усисне гране мотора или електрични мотор за повећање притиска на главни кочиони цилиндар.

2.2 Модерни (електронски) кочиони системи

Antilock Braking System (ABS) је систем који се састоји од неколико компоненти, дизајнираних да спрече блокирање точкова. Када сензор детектује да точак блокира (што се манифестује наглим смањењем брзине ротације), електронска контролна јединица (ECU) интервенише тако што смањује притисак хидрауличне течности у кочионом цилиндру тог точка. Смањење притиска ослобађа точак, омогућавајући му да се поново почне окретати. Када се детектује да се точак опет слободно окреће, ECU поново повећава притисак како би максимизовао кочиону силу. Овај циклус смањења и повећања притиска може се поновити више пута у секунди, чиме се оптимизује кочење.

Electronic Stability Control (ESC) је систем који помаже возачима да одрже контролу над возилом у критичним ситуацијама, посебно током оштрих скретања или на клизавим површинама. Уведени су средином 1990-их. Ако возило почне да клизи или скреће више или мање од жељеног, ESC примјењује кочиону силу на један или више точкова како би се исправио правац возила.

Електро-хидраулични кочиони системи комбинују традиционалне хидрауличне компоненте са модерним електронским управљањем. Ови системи користе електронске сигнале за управљање хидрауличним притиском. Притисак у хидрауличним линијама генерише се и контролише електричним моторима који управљају хидрауличним пумпама. Електро-хидраулични системи су били важан корак ка увођењу потпуно електронских кочионих система јер су омогућили постепен прелазак са традиционалних на модерне технологије.

Електронски кочиони системи без хидраулике, познати као „**Brake-by-wire**“ (**BBW**) из 2000-их користе електричне сигнале уместо хидрауличне течности за контролу кочења, што омогућава још бржу и прецизнију контролу кочења. Развојем електронских педала кочнице, ECU-а, електронских актуатора и сензора притиска, овај систем је поставио темеље за будућност аутомобилске индустрије у погледу безбједности и перформанси.

Основни принципи **Regenerative Braking System-a (RBS)** почели су да се развијају 1990-их у специјализованим возилима, а технологија је достигла широку примјену тек у 2010-им појавом масовно произведених хибридних и електричних возила. Функционишу тако што користе електромоторе у возилу као генераторе током кочења. Када возач успорава или зауставља возило, електромотор преузима кинетичку енергију кретања и претвара је у електричну енергију која се затим складишти у батеријама. Регенеративно кочење такође смањује емисију топлоте, што доприноси дужем вијеку трајања кочионих компоненти чиме се смањују трошкови одржавања.

ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) представља комплексну мрежу напредних технолошких рјешења који синхронизују рад различитих сензора, софтвера и актуатора како би пружила возачу подршку у управљању возилом и повећала сигурност на путу. Ови системи функционишу као интелигентни асистенти који континуално анализирају услове вожње, околину и рад возила, реагујући брже и прецизније него што би било могуће искључиво људским дјеловањем. ADAS системи се ослањају на различите врсте сензора, укључујући камере, радар, *Lidar (Light radar)*, ултразвучне сензоре и GPS. Интегрисани сензори континуално шаљу податке централној јединици, која спаја информације добијене од сензора, анализирајући их како би се створила свеобухватна слика околине возила.

2.3 Интеграција напредних функција у модерне кочионе системе

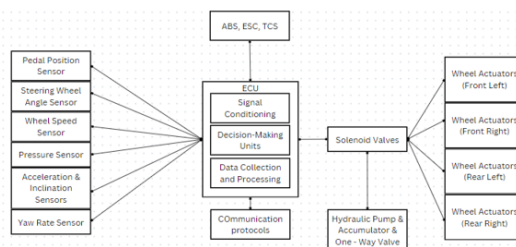
Traction Control System (TCS) користи се за спречавање проклизавања точкова приликом убрзавања, што је посебно корисно на клизавим или неравним површинама. Систем ради у комбинацији са сензорима брзине точкова како би пратио брзину ротације сваког точка. Када сензори детектују разлику у брзини ротације точкова, што указује на проклизавање, TCS одмах интервенише на два начина: први начин је смањење снаге мотора, а други начин је примјена кочница.

Automatic Emergency Braking (AEB) је сигурносни систем који аутономно активира кочнице возила када детектује опасност од судара, а возач не реагује на вријеме. Овај систем користи комбинацију технологија, укључујући радаре, камере и друге сензоре, како би пратио окружење око возила и идентификовао потенцијалне препреке, као што су друга возила, пјешаци, бициклисти или статични објекти.

Electronic Brakeforce Distribution (EBD) је напредна технологија која оптимизује расподелу кочионе силе између предњих и задњих точкова возила. EBD систем користи сензоре за праћење брзине возила, оптерећење и притисак кочнице. На основу ових података EBD прилагођава кочиону силу како би се постигла оптимална стабилност и сигурност возила.

3. АРХИТЕКТУРА И ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА КОЧИОНОГ СИСТЕМА

3.1 Архитектура електронског кочионог система



Слика 1. Општа архитектура кочионог система
Папучица кочнице је прва компонента коју возач активира при кочењу. Када је притиснута она преноси механичку силу на „*Pedal Simulator*“. Осјећај притиска и отпора који папучица пружа возачу симулира онај у традиционалним хидрауличним системима. Сензор

позиције педале мјери прецизан положај папучице кочнице, укључујући и брзину притиска. Овај сензор детектује положај папучице и преноси информације електронској контролној јединици (ECU) као електрични сигнал. ECU је централни процесор система, одговоран за прикупљање, обраду и доношење одлука на основу података са различитих сензора. Састоји се од неколико модула и јединица:

Signal conditioning module иницијално обрађује сигнале који долазе са сензора, филтрира шумове, појачава сигнал и стабилизује их.

Data collection and Processing Module је одговоран за прикупљање података са различитих сензора инсталираних у возилу. Након прикупљања, подаци се обрађују унутар ECU-а користећи напредне алгоритме. ECU анализира тренутне услове вожње као што су брзина возила, углови волана, динамика возила и предвиђа потребне акције за оптимално кочење и одржавање стабилности.

Decision – making units унутар ECU-а су одговорне за доношење свих одлука које се тичу прилагођавања кочионог система. ECU одређује и контролише оптималан притисак у хидрауличним линијама да би се кочиона сила примјењивала на одговарајући начин.

Соленоидни вентили функционишу на основу електромагнетног принципа. Када ECU пошаље електрични сигнал солениду, електромагнет унутар вентила активира механички механизам који може отворити или затворити вентил те се регулише проток хидрауличне течности кроз систем. Хидраулична пумпа је одговорна за генерисање потребног притиска у хидрауличном систему. Акумулатор служи за стабилизацију притиска у хидрауличном систему. Ова компонента складишти хидрауличну течност под виском притиском. Неповратни вентил уграђен је у систем да би се осигурала једносмјерна циркулација хидрауличне течности. *Wheel actuators* служе за примјену кочионе силе на дискове. Могу бити хидраулични или електромеханички у зависности од дизајна система

3.2 Хардверски дио

Wheel Speed Sensors (сензори брзине точкова) мјере брзину ротације точкова омогућавајући контролу брзине ротације сваког точка појединачно. Магнетни сензори за брзину точкова функционишу на принципу *Hall*-овог ефекта док индуктивни сензори, познати као пасивни сензори, функционишу на основу електромагнетне индукције.

Сензори притиска су уређаји који прецизно мјере притисак у хидрауличним системима. Када притисак дјелује на мембрану сензора, она се савија или деформише, што доводи до промјене у електричном отпору или капацитивности материјала у зависности од типа сензора.

Сензори убрзања (акцелерометри) и сензори угаоне брзине имају важну улогу у системима за безбједност и контролу возила. Оба типа сензора у аутомобилској апликацији најчешће користе MEMS (*Micro – Electro – Mechanical - Systems*) технологију.

Информације сензора положаја се користе у бројним аутомобилским системима, укључујући електронску контролу стабилности (ESC), системе помоћи при

паркирању и адаптивни темпомат. Ови сензори мјере положај важних компоненти, као што су волан и педала кочнице.

Микроконтролери представљају компоненте које омогућавају управљање комплексним функцијама, морају испунити захтјеве високе процесорске моћи, велике меморије и напредних улазно – излазних интерфејса како би се осигурали сигурност и перформансе. Микроконтролери, као што је на примјер AURIX TC4x серија, који су базирани на *TriCore* архитектури, интегришу више процесорских језгара и напредне функције. Оваква архитектура омогућава извршавање сложених алгоритама у реалном времену. Микроконтролери у аутомобилским системима морају бити способни да раде у екстремним условима, с обзиром на то да су возила изложена различитим климатским и механичким стресовима.

Електромагнетни вентили раде тако што користе електричну енергију за креирање магнетног поља унутар соленида, који онда покреће клип (плунжер) да отвори или затвори вентил. Када се електрична струја доведе у завојницу, она ствара магнетно поље које привлачи клип према горе или га гура надоле, зависно од конструкције.

Хидрауличне пумпе се користе у традиционалним и електро-хидрауличним кочионим системима, а раде тако што претварају механичку енергију у хидраулични притисак.

Електромоторни актуатори су компоненте које претварају електричну енергију у механички рад. Електромотор генерише ротациони покрет када добије електрични сигнал из контролне јединице возила који се преноси на редуктор који смањује брзину ротације и повећава обртни момент.

3.3 Софтверски дио

Електронски кочионни системи (EBS) представљају сложене технолошке системе који интегришу различите контролне алгоритме који имају задатак да управљају кочењем. *Fuzzy* контролни систем је систем заснован на „fuzzy“ логици - математички алгоритам који анализира аналогни улаз вриједности у смислу логичких варијабли које попримају континуалне вриједности између 0 и 1. Улазне промјенљиве у *Fuzzy* алгоритму се обично мапирају на скупове функција припадности, који су познати као „fuzzy скупови“. *Fuzzy* контролери се састоје од три главне фазе: улазне фазе, фазе обраде и излазне фазе.

Real-time обрада података значи да се подаци прикупљени са различитих сензора обрађују тренутно, а на основу тих података доносе се одлуке које се одмах примјењују. Оперативни системи (RTOS) управљају обрадом података тако што задацима додјељују приоритете и контролишу њихово извршавање у тачно одређеним временским оквирима.

Како би се обезбједила стандардизација софтверских компоненти у аутомобилским ECU јединицама током 90-их година је развијен OSEK/VDX. Сврха овог стандарда била је да се смањи сложеност развоја и одржавања ECU софтвера кроз унапријед дефинисану архитектуру. AUTOSAR је настао као еволуција OSEK/VDX-а због све веће сложености ECU јединица у савременим возилима. Сврха овог стандарда је да

обезбиједи модуларну, флексибилну и скалабилну софтверску архитектуру која омогућава произвођачима аутомобила и добављачима да лакше интегришу и поново користе софтверске компоненте у различитим системима возила.

3.4 Комуникација унутар EBS-а

Комуникација унутар електронског кочионог система ослања се на различите комуникационе протоколе који омогућавају брз и поуздан пренос података између различитих компоненти. Међу најважнијим протоколима који се користе су CAN (*Controller Area Network*), LIN (*Local Interconnect Network*) и FlexRay. CAN (*Controller Area Network*) је најчешће коришћен протокол у EBS-у због својих јединствених карактеристика које омогућавају ефикасну и поуздану комуникацију између компоненти у реалном времену. То је мултимастер серијски комуникациони протокол који омогућава микроконтролерима и ECU јединицама у возилу да комуницирају преко само два кабла. Ради на принципу диференцијалне сигнализације, што значи да два проводника преносе супротне сигнале (CAN_H и CAN_L), чиме се повећава отпорност на електромагнетске сметње.

4. ТЕСТИРАЊЕ EBS-А

Тестирање електронских кочионих система неопходно је за провјеру поузданости, ефикасности и сигурности система. Систем се састоји од више компоненти као што су кочиони дискови, сензори, актуатори и контролне јединице. Свако тестирање је подијељено на различите нивое и типове како би се осигурало да систем функционише правилно у свим сценаријима вожње. Врсте тестова који се користе у процесу тестирања су *Unit* тестови, интеграциони тестови, системски тестови и перформанс тестови. Осим ових основних врста тестирања, важну улогу играју и софтверске симулације.

Лабораторијско испитивање електронског кочионог система (EBS) је основни корак у провјери исправности система прије него што се подвргне тестирању у реалним условима. Ова фаза обухвата испитивање појединачних компоненти као што су кочиони дискови, сензори притиска, актуатори и контролне јединице.

Симулације представљају једну од метода тестирања система. Њихова примјена омогућава инжењерима да испитају различите сценарије кочења у контролисаним виртуелним условима, гдје могу тестирати перформансе и поузданост система без потребе за физичким тестирањем на возилу. У комбинацији *ca test bench*-евима, симулације пружају додатну прецизност јер се неке компоненте могу физички тестирати уз симулиране услове. Софтверски алати као што су *MATLAB*, *Simulink*, *CANoe*, и *CarSim* омогућавају прецизну симулацију, анализу и оптимизацију компоненти и алгоритама који управљају системом.

Након што електронски кочиони систем прође кроз фазу лабораторијског тестирања и софтверских симулација, наредна фаза је тестирање система у реалним условима вожње. Овај процес укључује испитивање како EBS реагује у различитим ситуацијама на путу, укључујући нормалне и екстремне услове вожње.

5. ЗАКЉУЧАК

Електронски кочиони системи (EBS) значајно доприносе побољшању сигурности, ефикасности и перформанса возила. Са интеграцијом савремених технологија EBS омогућава прецизну контролу кочења у реалном времену. Будући системи ће морати бити у стању да се прилагоде новим инфраструктурним рјешењима у оквиру паметних градова, гдје ће кочиони системи комуницирати са околином, добијати информације од путних инфраструктура.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Xuehui Hua; Jinbin Zeng; Haoxin Li; Jingkai Huang; Maolin Luo; Xiaoming Feng; Huiyuan Xiong; Weibin Wu, A Review of Automobile Brake-by-Wire Control Technology
- [2] Kanak Sunil Patil; Prasad Pandhareenath Desai, Regenerative Braking Systems, 2024.
- [3] Ken Pickerill, Today's technician classroom manual for automotive brake systems, Seventh Edition, 2018
- [4] Dhvanit Panchal D; Arjun Patel V; Dhaval Zala, Anti-Lock Braking System
- [5] Nicholas Goodnight; Kirk VanGelde, Automotive Braking Systems, 2019.
- [6] Karl-Heinz Dietsche; Konrad Reif, Bosch Automotive Handbook, 2022.
- [7] Fuzzy Control System.pdf
- [8] Peter KOŽUCH; Ľubomír HUJO; Ľukasz MUŚLEWSKI2; Marietta MARKIEWICZ-PATALON, Dynamic and Stationary Testing of Vehicle Braking Systems, 2023.
- [9] Halim Davista; Syafri; Febliil Huda; Kaspul Anuar, Analysis of the Braking System in the Gardapati Energy Saving Car Prototype, 2023.

Кратка биографија:



Сања Бјелић рођена је у Бањалуци 1997. године. Од 2020. ради као систем инжењер у аутомобилској индустрији. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Мерни Системи – Мјерно – управљачки модули кочионог система возила одбранила је 2024. године.