

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Мехатроника мотора и моторних возила

Број индекса: 325/2010

Јелена М. Радојевић

**Електронско управљање системом активног
еластичног ослањања савременог путничког
возила**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. Проф. др Драгољуб Радоњић - ментор**
- 2. Проф. др Александра Јанковић**
- 3. Проф. др Јасна Радуловић**

Датум одбране: 07. 11. 2012.

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да објасни принципе електронског управљања у системима активног еластичног ослањања (CEO) савремених путничких возила. Пре свега, треба направити осврт на историјски развој система еластичног ослањања путничких возила, а потом усвојити одређени савремени концепт система. Потом треба обрадити следеће:

- Одредити карактеристике и параметре изабраног CEO коришћењем симулационих модела;
- Дефинисати шеме и алгоритме управљања активним CEO;
- Објаснити структуру и карактеристике елемената система електронског управљања;
- Анализирати карактеристике пројектованог система применом симулационих модела.

Препоручена литература:

- [1] Александар Грујовић, Електроника аутомобила, Машински факултет у Крагујевцу, Центар за информационе технологије, Крагујевац, 2008.
- [2] Allan W. M. Bonnick, Automotive computer controlled systems – Diagnostic tools and techniques, Oxford, 2001.
- [3] Tim Denton, Automobile electrical and electronic systems, Elsevier Butterworth-Heinemann, Great Britain, 2004.
- [4] Документација програмског пакета MATLAB, The MathWorks Inc, 2008.

Крагујевац, 07. 11. 2012.

ментор:

Проф. др Драгољуб Радоњић

Резиме

Мастер рад покрива тематику управљања системом еластичног ослањања (CEO) на возилу, који представља један од кључних система на возилу. Задатак овог система је повезивање ослоњене и неослоњене масе возила, односно точкова и каросерије. Такође, задатак CEO јесте и преношење и апсорбовање динамичких сила које се јављају при кретању возила.

Један од највећих изазова за инжењере јесте пројектовање система ослањања код кога се остварује компромис између комфора путника и добрих возних перформанси, односно стабилности вожње. Компромис између та два супротстављена циља се постиже развојем активних, односно електронски контролисаних система еластичног ослањања.

Направљен је осврт на еволуциони развој система ослањања, који је текао од пасивног, који се и данас примењује код већине светских прозвођача аутомобила, преко полуактивног, да би се у новијој историји развио у активни систем који се састоји од низа механичких и електронских компонената – електронских управљачких јединица, сензора и актуатора.

Упрошћени дводимензионални математички модели CEO, са ограниченим бројем степени слободe, представљају основу за утврђивање закона кретања, а на основу њих се базирају симулациони модели који обезбеђују испитивања карактеристика и доприносе развоју и имплементацији активних система еластичног ослањања.

Кључне речи: Систем еластичног ослањања, Активно ослањање, Полуактивно ослањање.

Abstract

This thesis covers topic of management on automotive suspension system of the vehicle, which is one of the key systems on the vehicle. The task of this system is to connect sprung and unsprung mass of the vehicle, ie wheels and bodywork. Also, the task of automotive suspension is to absorb and transfer the dynamic forces that occur while driving.

One of the biggest challenges for engineers is to design suspension system which achieves a compromise between the comfort of passengers and good driving performance, ie driving stability. A compromise between these two conflicting goals will be accomplished using active or electronically controlled of suspension.

The thesis contains a review of the evolutionary development of suspension systems, which had begun from a passive, which is still used by most of the world's automobile producers, through the semi-active, and finally to be developed in the recent history like an active system that consists of a series of mechanical and electronic components - electronic control units, sensors and actuators.

A simplified two-dimensional mathematical models of suspension, with a limited number of degrees of freedom, form the basis for determining the laws of motion, and also represents the base for simulation models that provide the study of the active suspension systems and contribute to their development and implementation.

Key words: Automotive suspension, Active suspension system, Semi-active suspension system.

Садржај

1. Уводна разматрања	6
1.1. Појам пасивних и активних система.....	6
2. Улога и историјски развој концепта система еластичног ослањања путничких возила ..8	
2.1. Функционални и ергономски захтеви за систем еластичног ослањања.....	8
2.2. Историјат система еластичног ослањања на аутомобилима	10
2.3. Основни принципи реализације система еластичног ослањања.....	12
2.3.1. Конструктивне и радне карактеристике еластичних елемената CEO	12
2.3.2. Еластични елементи система ослањања	18
3. Избор концепта и структуре CEO путничког возила	27
3.1. Полуактивни CEO.....	27
3.1.1. Солениодни/вентилски активирани полуактивни CEO	29
3.1.2. Магнетно реолошки пригушни елементи.....	30
3.2. Потпуно активни CEO.....	31
3.2.1. Хидраулички активни CEO.....	32
3.2.2. Електромагнетни регенеративни активни CEO	35
4. Одређивање карактеристика и параметара изабраног CEO коришћењем симулационих модела.....	37
4.1. Регулисање у процесима вертикале динамике	37
4.2. Карактеристике и параметри MATLAB <i>Simulink</i> модела возила.....	40
5. Дефинисање шеме и алгоритма управљања активним CEO	42
5.1. Примена метода H^∞ и Mu у управљању активним CEO	42
5.1.1. H^∞ метода у контролној теорији	42
5.1.2. Контролни (управљачки) модул преко μ -синтезе	48
6. Структура и карактеристике елемената система електронског управљања	51
6.1. Електронска управљачка јединица (EУЈ).....	51
6.2. Давачи у систему – конструкција и начин функционисања.....	55
6.2.1. Брзина возила	57
6.2.2. Померање и вертикално убрзање	58
6.2.3. Бочно и подужно убрзање	60
6.2.4. Давач силе.....	61

6.2.5. Положај управљача/управљачких тачкова.....	62
6.2.6. Положај пригушног лептира усисног вентила.....	62
6.2.7. Давач пливања возила	64
6.2.8. Сензор контроле клиренса у току вожње	64
6.3. Актуатори у систему – конструкција и начин функционисања.....	65
6.3.1. Корачни мотор.....	65
6.3.2. Соленоиди.....	67
6.3.3. Хидраулични актуатори	68
7. Анализа карактеристика пројектованог система применом симулационих модела	71
7.1. Симулација рада система еластичног ослањања	71
7.2. Симулација рада четири хидраулична цилиндра	75
8. Закључна разматрања	79
9. Литература	80

1. Уводна разматрања

Систем еластичног ослањања (у даљем тексту СЕО) је сложен механички систем возила којим се остварује веза између точка и каросерије или шасије возила. Самим тим, све динамичке реактивне силе које се јављају у зони контакта пнеуматика и тла се преносе преко елемената овог система на каросерију и даље на путнички простор. Динамичке реактивне силе најчешће потичу од неравнина пута, а ређе од неуравнотежености или ексцентричности точка.

Одређивање динамичких сила које се са тла преносе на каросерију је изазов за инжењере – како за оне који се баве мерењима и испитивањем возила, тако и за оне који користе методе аналитичке механике да би рачунским путем одредили померања и силе. Наравно, не мање и за инжењере који се баве симулационим моделима и методама оптимизације савременим приступима комбиновања рачунарске и мерне технике. Дакле, СЕО представља један конструктивни систем који завређује пажњу научника и стучњака са више аспеката истраживања.

У фазама пројектовања и усавршавања система ослањања на возилу увек се долази до проблема тражења и изналажења компромиса између захтева за што бољом стабилношћу возила на путу и што бољом удобношћу вожње путника. Развој технологије у електронској и хемијској индустрији омогућио је да се овај проблем може решавати и пројектовањем потпуно активних или полуактивних система ослањања.

Активни систем еластичног ослањања представља аутоматизовани систем којим се постижу боље перформансе удобности возила, мање и равномерније динамичке силе у елементима вођења точка као и у самим елементима ослањања. Овакви системи омогућавају компензацију сила или померања у еласто-пригушним елементима на које возач не може у довољној мери да утиче (на пример, кретање по путу лошег квалитета).

1.1. Појам пасивних и активних система

Да би се у потпуности разумела потреба постојања активних СЕО на возилу неопходно је објаснити значење појмова активних и пасивних система.

У процесима регулисања и управљања моторним возилом постоје **пасивни системи** чија је улога да генеришу силе које представљају одзив на одређено релативно кретање у систему. Они не могу да изведу динамичку компензацију свог понашања, односно, немају повратну спрегу којом би одзив био мењан.

За разлику од тога, уз помоћ **активних система** може се вршити компензација померања или сила чиме се ове величине одржавају у одређеном опсегу. Тако на пример, ови системи могу да:

- обезбеде мала померања, посебно у условима прелазног режима рада,

- обезбеде незнатне промене сопствених учестаности регулисањем статичких померања,
- генеришу силе независно од акумулиране механичке енергије у елементима, што омогућава да вредности сила могу да буду регулисане,
- генеришу силе тако да функције више променљивих и на тај начин регулишу величину силе са више аспеката; неке од променљивих могу да се мере и даљински, ван система, што пружа додатне могућности за управљање возилом.

Активни системи се могу подесити на различите нивое спољних сила, на различите тачности, као и на различите врсте спољашњих побуда.

И окружење, као ситем, карактеришу пасивна или активна стања и оно има своје карактеристике. Када су карактеристике окружења приближно константне (занемарљива промена параметара којима се описује окружење), тада се говори о *пасивном окружењу*.

Међутим, параметри окружења могу да се мењају и то:

- услед промене енергетског биланса у окружењу (на пример, временски услови у току кретања возила),
- услед појаве изненадних ситуација (на пример, изненадна опасност у видном пољу возача), као и
- услед предвидивих појава на које возач има донекле утицаја (неравнине, ветар и друге спољне побуде).

У овом случају се говори о *активном окружењу*.

Активни системи возила мењају своје динамичко понашање у току времена, и то најчешће на следеће начине:

- променом конструктивних карактеристика (крутост, пригушење),
- променом геометријских карактеристика (дужина или положај појединих елемената),
- променом кинематских величина (брзина и убрзање) покретних елемената.

Структура друмских возила садржи више система (погонски систем, систем еластичног ослањања, кочни систем, систем за управљање, систем за подмазивање, електро систем). За динамику возила су од посебног значаја системи за управљање и ослањање, као и погонски и кочни системи [1].

2. Улога и историјски развој концепта система еластичног ослањања путничких возила

2.1. Функционални и ергономски захтеви за систем еластичног ослањања

Као што је у уводу напоменуто, задатак CEO је да пренесе реактивне силе које се јављају између точка и тла на каросерију и да притом апсорбује и пригуши оне компоненте које би могле да да изазову нежељене ефекте у смислу века трајања возила, осцилаторне удобности путника, као и нарушавања одређених геометријских односа који би могли негативно да се одразе на стабилност и безбедност возила. Такође, треба да обезбеди вођење точкава по унапред дефинисаној путањи. Уколико CEO у већој мери смањује негативан утицај пута, утолико се може говорити о већој ефикасности и бољим укупним карактеристикама система.

Бројне и комплексне функционалне и ергономске захтеве треба да задовољи CEO. Они се могу сврстати у неколико основних група:

- мале промене трајекторије осциловања управљачких точкава при кретању по неравним путевима и заокретању;
- обезбеђивање кинематике вођења точка која омогућава мало хабање пнеуматика и добро управљање возилом;
- поседовање такве еластичности која покретним елементима даје одређени динамички ход, који не сме да ремети пројектоване конструктивне захтеве каросерије, а са друге стране, да обезбеђује одговарајућу осцилаторну удобност;
- обезбеђивање пригушења осциловања како надградње тако и точкава (тзв. ослоњене и неослоњене масе);
- минималне величине неослоњених маса и њихово оптимално компоновање у тражену целину;
- поузданост преношења сила и момената од точка до каросерије, тј. до система за управљање;
- могућност кретања, до граничних брзина, по неравним путевима;
- обезбеђивање добре стабилности и проходности каросерије и точкава при кретању у кривини, интензивном кочењу, бочно нагнутом или клизавом путу и слично;
- брзо пригушивање осцилација каросерије и точкава;
- прихватљив техничко-технолошки поступак израде и монтаже у серијској производњи [2,3].

У зависности од начина реаговања на осцилаторне побуде, CEO могу бити:

- пасивни и
- са регулисаним карактеристикама (полуактивни и активни) [4].

Конвенционални, односно пасивни СЕО увек представљају компромис између „меких“ опруга, односно опруга мале крутости за комфор и чвршћег ослањања за боље услове заокретања возила. Дакле, систем еластичног ослањања мора да испуни четири основне функције:

- апсорбовање сила од неравнина пута,
- контролисање „урањања“ чеоног дела возила при кочењу,
- спречавање појаве ваљања возила при заокретању (слика 2.1.),
- контролисање померања и осцилација каросерије возила.



Слика 2.1. : Динамичке појаве при кретању возила

Ово указје да повећање ефикасности одређених функција СЕО утиче на смањење ефикасности других других и обрнуто. Активни систем ослањања представља решење који се задовољавају сви наведени функционални и ергономски захтеви, без прављења компромиса између услова комфора и стабилности вожње [5].

Еволуциони развој СЕО је почео са пасивним (данас је у примени код већине светских произвођача аутомобила), да би се преко полуактивног (општа је тежња да се примени код аутомобила средње класе) развио у најновије време до активног (са применом су почеле само најреномираније светске фирме и то за аутомобиле високе класе).

Развој аутоматике и информатике је пружио могућност реализације компјутерског управљања системима аутомобила [3, 4].

Са аспекта испуњавања ергономских захтева СЕО, неопходно је да се испуне услови повољне осцилаторне удобности у возилу.

Осцилаторна удобност, у литератури позната и под именима комфор ослањања или комфор огибљења, представља меру удобности коју СЕО возила пружа путнику током вожње.

Осцилаторна удобност се представља убрзањем које путник на седишту добија од импулса силе приликом преласка возила преко неке препреке, па се као јединица мере узима m/s^2 .

Осцилаторна удобност подразумева одржавање убрзања ослоњене масе у предвиђеним границама, и то у што ширем фреквентном дијапазону, тј. пригушивање осцилација и угаоних померања ослоњене масе као и ограничавање хода и зазора истих. У ову групу задатака спада и спречавање појава резонантних учестаности целог система, односно одржавање сопствене фреквенције система у предвиђеним границама [4].

2.2. Историјат система еластичног ослањања на аутомобилима

У лето 1904. године младић по имену Вилијам Браш (*William Brush*) направио је значајан напредак у проналажењу модерног система еластичног ослањања на аутомобилу. Возећи аутомобил свог брата *Crestmobile* по тадашњим земљаним путевима брзином од 30 миља на сат, Браш је доживео незгоду када је ушао у кривину јер је изгубио контролу над возилом.

Због свог лошег искуства млади Вилијам је покушавао да дизајнира „бољи“ аутомобил. Његов унапређени аутомобил *Runabout* се појавио 1906. године и имао је револуционарни систем ослањања. Овај CEO је садржао два иновациона елемента: спиралне опруге напред и уређаје који су се налазили на сваком точку и који су имали улогу да смање ударне силе – амортизере.

Поједини европски произвођачи аутомобила су испробали спиралне опруге, са Готлибом Дајмлером (*Gottlieb Daimler*) у Немачкој као главним представником. Међутим, већина произвођача се оријентисала ка примени лиснатих опруга. Лиснате опруге су биле јефтиније, а још једна битна предност је чињеница да се једноставном променом облика листова од потпуно елиптичних у $\frac{3}{4}$ - и полу- елиптичне, а на тај начин се овакав тип опруга могао користити за возила различитих маса.

Одређени вид лиснатих опруга (гибњева) датира још из доба Римљана, када су коришћене на возилу са два точка под називом *Пилентум*, а састојале су се од еластичних дрвених штапова. Први челичнигибањ се појавио у 18. веку на кочијама у Француској, и састојали су се од једне равне плоче.

Вишеслојне лиснате опруге, какве се и данас користе код задњег ослањања појединих возила, је изумео Обидаја Елиот (*Obadiah Elliot*) 1804. године у Лондону. Елиот је једноставно наслагао више плоча једну на другу, причврстио их клиновима и заварио за основу кочије.

Међутим, ни спиралне опруге нису биле у потпуности занемарене. Први патент једне такве опруге (*Британски патент број 792*) се приписује Р. Тредвелу (*R. Tredwell*) и везује се за 1763. годину. Основна предност спиралних опруга у односу на лиснате је то што се оне нису морале раздвајати како би се вршило подмазивање.



Слика 2.2. : Лисната опруга на моделу аутомобила Ford T

Фордов модел Т из 1908. је био опремљен са лиснатим опругама, а иновативно је било то што се је једангибањ био монтиран трансверзално на свакој осовини, а не на сваком точку, како је до тада била пракса (слика 2.2.). Фордова адаптација гибњева који су се користили на француским тркачким аутомобилима, а који су израђени од веома чврстог ванадијумског челика, је допринела смањењу масе и укупних трошкова без утицаја на трајност и издржљивост аутомобила.

Спиралне опруге као ослонци су од открића и наредних 25 година биле заборављене, уз понеки изузетак. Међутим, прилично изненада, 1934. године произвођачи попут Џенерал Моторса (енгл. *General Motors*), Крајслера (енгл. *Chrysler*), Хадсона (енгл. *Hudson*) почињу да уграђују спиралне опруге у предњи систем ослањања својих аутомобила, и то на сваки точак појединачно. Исте године, већина аутомобила је била опремљена хидрауличним амортизерима и ваздушним пнеуматичима, тј. пнеуматичима испуњеним ваздухом ниског притиска. Уградња круте предње осовине са амортизерима и оваквим пнеуматичима је значајно допринела стабилности вожње и управљивости. Засебно ослањање сваког точка је допринело повећању осцилаторне удобности, односно смањењу утицаја ударних оптерећења. Након Другог светског рата већина произвођача аутомобила је усвојила ослањање са спиралним опругама на својим моделима.

1938. године амерички произвођач Бјуик (енгл. *Buick*) је на својим моделима први пут увео предње и задње ослањање помоћу спиралних опруга. Од тада је систем еластичног ослањања предње и задње осовине варирао између лиснатих и спиралних опруга од произвођача до произвођача, односно од модела до модела. У системе еластичног ослањања возила већих маса и габарита су уграђиване лиснате, а у мања и лакша возила спиралне опруге.

Независно ослањање задњег дела аутомобила је постало популарно код европских произвођача због пружања могућности боље управљивости и веће стабилности вожње. Најјефтинији метод је тзв. осовина клацкалица, због које су рана возила произвођача Фолксваген (*Volkswagen*) била озлоглашена. Код овог решења, диференцијал је завртњевима спојен за шасију, са зглобовима на само једном крају осовина. Међутим, када точкови прелазе преко неравнина на коловозу, угао померања точка у односу на вертикалу, а самим тим и траг задњих точкова, значајно се мења у току вожње, на тај начин

отежавајући управљање возилом. У екстремним маневарским условима, ова померања точкова могу довести до превртања возила. Убрзо су се појавиле и осовине са зглобовима на оба краја су боље решење јер онемогућују велике углове померања точка у хоризонталној равни приликом заокретања.

Ваздушно ослањање аутомобила први пут представила британска компанија Коуви (енгл. *Cowey Motor Works*) 1909. године. Међутим, постојао је проблем са овом инсталацијом због цурења радног флуида – ваздуха.

Први ваздушни CEO који је имао практичну употребу је 1933. године развијен од стране произвођача Фајерстоун (енгл. *Firestone*) на експерименталном возилу Стоут-Скараб (енгл. *Stout-Scarab*). Овај аутомобил, приказан на слици 2.3, са погоном позади је имао четири гумиране коморе испуњене ваздухом уместо конвенционалних опруга. Довод ваздуха је вршен на рачун малих компресора који су монтирани испод сваке коморе. Ово је било једно од скупљих решења CEO, као и данас [6].



Слика 2.3. : Изглед експерименталног возила Stout-Scarab

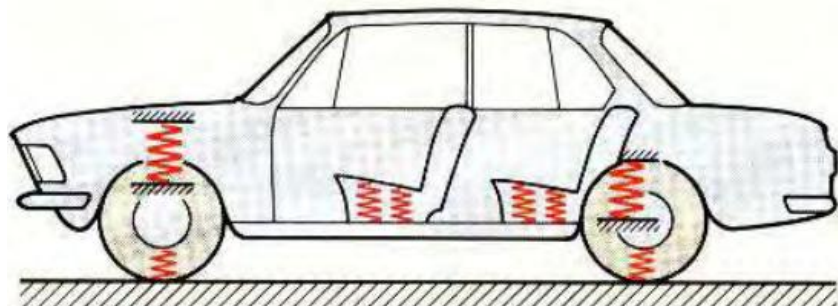
Даљи развој елемената система ослањања је уследио, а траје и данас, а нека иновативна конструкцијска решења и њихове карактеристике су објашњене у даљем тексту.

2.3. Основни принципи реализације система еластичног ослањања

2.3.1. Конструктивне и радне карактеристике еластичних елемената CEO

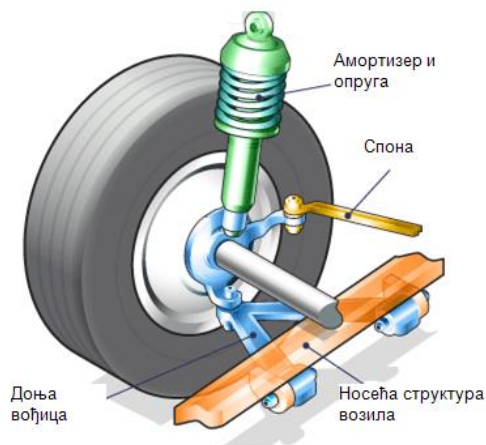
Систем еластичног ослањања, у општем случају, представља један врло сложен систем који се састоји из три посебна система или механизма, и то:

- механизма за вођење точкова,
- еластичних ослонаца,
- елемената пригушивања.



Слика 2.4. : Упрости́ени модел ослањања једног путничког возила

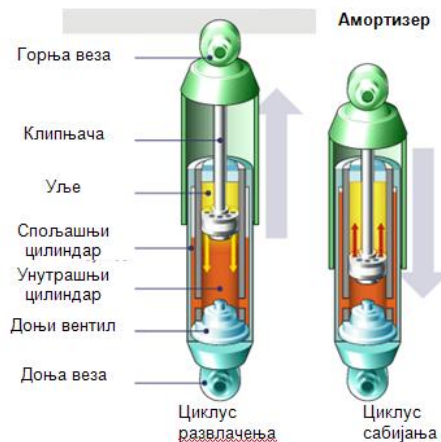
Механизам за вођење точка (елементи за вођење, покретни ослонци) има задатак да обезбеди што повољније релативно померање точкова у односу на оквир или каросерију возила, односно да обезбеди што повољнију кинематику точкова, слика 2.5. Елементи за вођење такође морају да обезбеде и преношење хоризонталних реактивних сила и реактивних момената са самог точка на оквир, односно каросерију возила. Циљ је обезбеђење оптималног положаја пнеуматика (потребних углова постављања точкова) у односу на тло у свим условима коришћења и оптерећења, што је претпоставка адекватној и квалитетној дистрибуцији подужних сила (погон/кочење) и бочних сила (управљање/стабилност).



Слика 2.5. : Механизам за вођење точка

Еластични ослонци (еластични елементи) у основи имају задатак да пренесу на оквир или каросерију вертикалне реактивне силе, односно, њихов суштински задатак је да при преношењу ових вертикалних сила обезбеде њихово што веће ублажавање, односно да се што више смање ударна оптерећења, тј. да се оствари мирнија вожња.

Елементи за пригушивање (амортизери) имају основни задатак да пригушују осцилације еластичних ослонаца, односно система ослањања и возила у целини, као и смањивање ударних оптерећења. Изглед и делови пригушног елемента су илустровани на слици 2.6.



Слика 2.6. : Пригушни елементи

На друмским превозним средствима, поред претходно дефинисаних механизма и елемената система ослањања, понекад се срећу и неки посебни елементи који имају за циљ обезбеђење што веће стабилности возила, при његовом кретању у кривини. Ови елементи се зову **стабилизатори**, слика 2.7.



Слика 2.7. : Елементи за обезбеђење стабилније вожње

Код одређеног броја система ослањања један еластични елемент може да испуни функцију и елемента за вођење точка и елемента за пригушивање осциловања. Тако, нпр. код великог броја теретних возила, уздужни лиснати гибњеви, поред своје функције еластичног елемента, одређују кинематику точкова, примају све врсте оптерећења и пригушују осцилације услед трења између листова гибња.

Код одређеног броја система ослањања сва три подсистема су изведена одвојено: еластични елементи – у виду опруга, елементи за вођење – у виду полуга, ослонаца и зглобова, а елементи за пригушење осциловања – у виду амортизера.

Основни захтеви које треба да испуни систем ослањања су:

- оптималне величине сопствених фреквенција осциловања одређених у зависности од статичког угиба;
- довољан динамички ход који искључује ударе о граничнике;
- потребне кинематске карактеристике точкова, са циљем смањења хабања пнеуматика, стабилизације управљачких точкова и побољшања карактеристика понашања возила при кретању и оптималних величина пригушивања осциловања надградње и точкова.

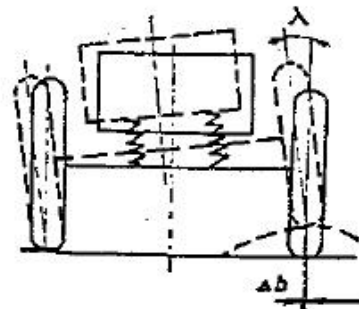
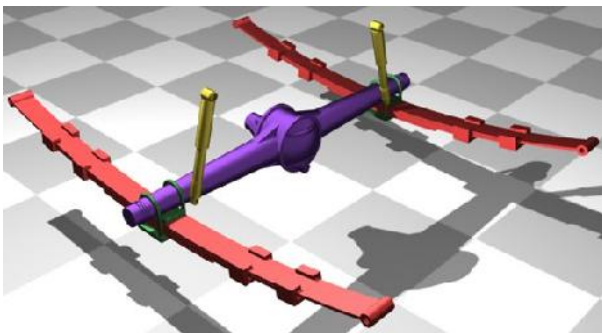
Постављени захтеви код система ослањања могу да се остваре на веома велики број начина. Разлог овако великом броју начина свакако је у чињеници да се потпуно обезбеђење постављених задатака за разне врсте моторних возила не може остварити само са једном истом конструкцијом, па чак ни решењем са истим концепцијом основама (свако решење представља компромис).

Системи ослањања могу бити и **нееластични**, где се реактивне силе и моменти, као и ударна оптерећења која се јављају при кретању по неравном тлу, у потпуности преносе на оквир или каросерију возила, без икаквог ублажавања. Код нееластичног ослањања не постоје механизми за вођење точкова, еластични ослонци, односно елементи за пригушивање. Нееластично ослањање се често примењује код радних возила (трактора).

Системи еластичног ослањања се деле на:

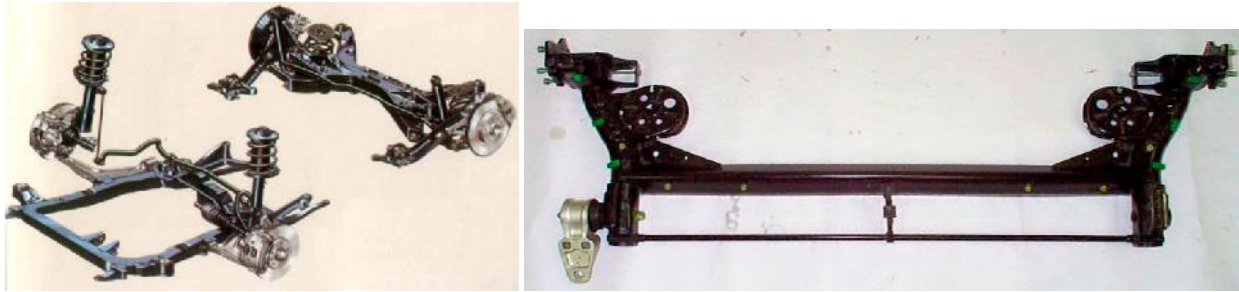
- зависне и
- независне.

Зависни системи су везани за појам крутог моста, погонског или управљачког код кога крута греда везује леви и десни точак, при чему се померање једног точка у попречној равни преноси и на други точак (слика 2.8.). Ови системи су најједноставнији, али не пружају могућности обезбеђења правилне кинематике управљања. Примењују се на управљачким мостовима теретних возила. На погонским (неуправљивим) мостовима зависни системи ослањања врло често су заступљени код путничких возила, а код теретних возила, практично, увек.



Слика 2.8. : Зависни систем еластичног ослањања

Независни системи ослањања се практично обавезно примењују на управљачким мостовима путничких возила, а све више и на њиховим погонским мостовима (слика 2.9.). Између точкова једне осовине не постоји директна веза, тако да померање једног точка не проузрокује директно и обавезно померање и другог точка. Оно обезбеђује добар контакт са тлом јер се сваки точак независно од другог прилагођава неравнинама пута.



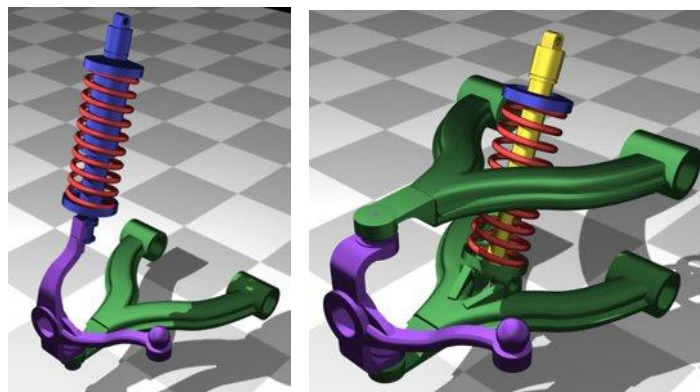
Слика 2.9. : Полузависно ослањање задње осовине

У зависности од тога у којој се равни помера точак при његовом подизању, разликују се системи независног ослањања са померањем точка у:

- попречној равни са једном или две попречне вођице;
- уздужној равни са једном или две уздужне вођице;
- уздужној и попречној равни са постављаним вођицама под одређеним углом у односу на попречну и уздужну раван;
- са вертикалним померањем преко вертикалне вођице.

Померање точкова у попречној равни

- са једном
- са две попречне вођице (једнаких или различитих дужина).



Слика 2.10. : Систем независног ослањања са померањем точкова у попречној равни, са једном и две попречне вођице

Код овог типа вођења долази до *промене трага* што доводи до бочног клизања пнеуматика и повећаног хабања, као и до *промене нагиба* што доводи до жироскопских момената и „лепршања“ точкова.

1. Решење са једном вођицом даје у основи сличну кинематику точкова као и систем зависног ослањања (са знатним променама трага и угла нагиба точкова)

2. Механизам са две вођице исте дужине обезбеђује померање точкова у паралелним равнима без промене угла нагиба точка, али уз осетне промене трага точкова, што доводи до појачаног бочног клизања и брзог трошења пнеуматика.

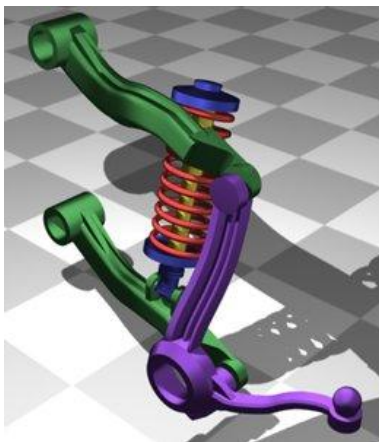
Механизам са две попречне вођице различите дужине доводи и до промене нагиба точка и до промене у трагу точкова. Погодним избором односа дужина горње и доње вођице могу се свести ове негативне појаве на умерене величине (траг точкова 4-5мм, нагиб точка 5-6°).

Решења са гибњевима као вођицама су једноставна и економична, али се примењују само код путничким малолитражних возила. Попречне вођице у облику троугла или штапа имају већу крутост од лиснате опруге. Оптерећења која се јављају у току експлоатације у тачкама ослањања точка, далеко су већа на доњим вођицама, па сегибањ обично користи као горња вођица.

Померање точкова у подужној равни

- са једном
- са две (чешће) подужне вођице.

Не изазивају промену ни трага точкова, ни нагиба точка. Мења се само међуосно растојање, што није тако велики проблем. Недостатак је неповољна бочна крутост, тј. немогућност преношења великих бочних оптерећења (само код путничких аутомобила малих запремина и релативно ограничених максималних брзина). Подужне вођице су изложене савијању и увијању. Овакав систем је релативно једноставне конструкције и често се јавља код возила са предњим погоном при ослањању задњег моста. Врло добра особина је што омогућава велики пртљажни простор.



Слика 2.11. : Систем независног ослањања са померањем точкова у подужној равни, са две подужне вођице

Померање точкова у две равни

Код овог конструктивног решења вођице су под одређеним углом у односу на попречну или уздужну раван. Овим се обједињују добре стране претходно описаних механизма, како је илустровано на слици 2.12.

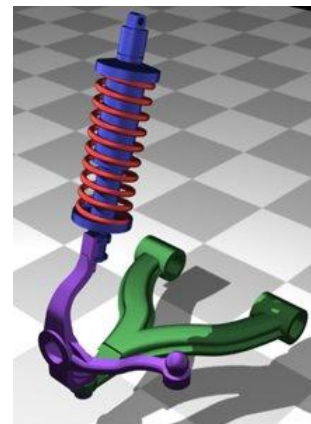
Промене у трагу и нагибу се могу у случају подесно изабраних односа дужине горње и доње вођице остварити у још мањим границама него што је то случај код попречног вођења, уз обезбеђење услова за пријем бочних оптерећења. Стављају се како на управљачке, тако и на погонске точкове. Основна предност је у врло ефикасном пријему хоризонталних реактивних сила и момената, чак и када достижу велике вредности.

Померање точкова у вертикалној равни

Остварује се помоћу вертикалне вођице, а одликује се у погледу кинематике точкова врло dobrim карактеристикама тј. врло малим, чак никаквим променама нагиба точка и трага точкова. Недостатак је што се тешко конструктивно решавају, а не понашају се добро при дејству бочних сила.



Слика 2.12. : Систем са померањем точка у две равни



Слика 2.13. : Мек Ферсон систем независног ослањања

Мек Ферсон систем

Код Мек Ферсон (енгл. *MacPherson*) система ослањања вертикална вођица је тако изведена да обавља и функцију еластичног ослоња-пошто је на њој са горње стране монтирана опруга, као пригушни елемент пошто је у њеној унутрашњости смештен амортизер, слика 2.13. Највећа предност се огледа у релативно малом броју зглобова, односно места која су изложена хабању, једноставној монтажи и демонтажи. Недостатак је недовољна бочна крутост, што захтева појачану доњу вођицу.

2.3.2. Еластични елементи система ослањања

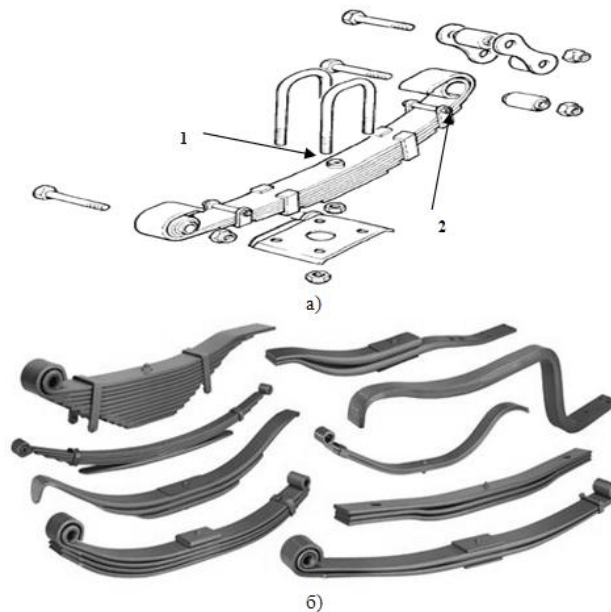
Код возила, за постизање што веће осцилаторне удобности и безбедности у вожњи, користе су сви системи познати у машинству (лиснате, спиралне, торзионе опруге, гумени

или гумо-метални еластични елементи, хидраулично, ваздушно и хидро - пнеуматске опруге). Овом систему се додају и одговарајући елементи – пригушивачи осцилација, такозвани амортизери.

Лиснати гибњеви

Лиснате опруге представљају један од најраспрострањенијих и у конструкцијама возила најдуже коришћен тип еластичних ослонаца.

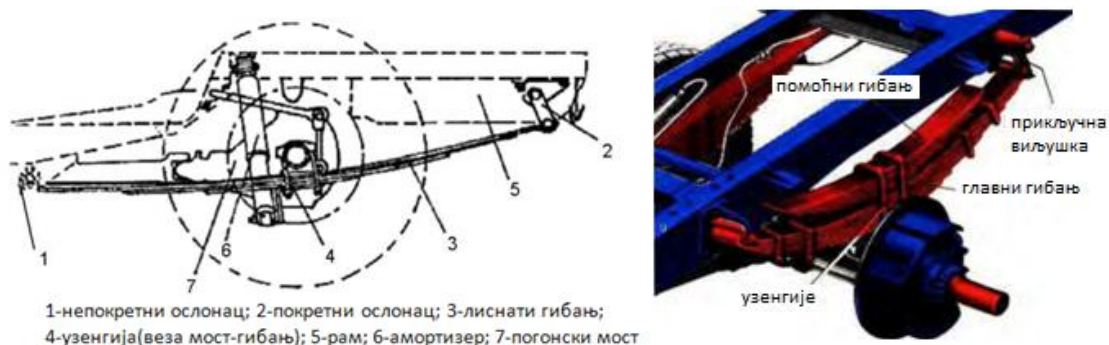
Лиснати гибњеви спадају у еластичне елементе који се под дејством силе савијају. Обично се употребљавају код система зависног ослањања. На слици 2.14. су приказане неке од врста гибњева као и њихов изглед склопљеног стања.



Слика 2.14. : Врсте гибњева

Гибњеви су састављени од подужних, појединачних ваљаних или вучених челичних трака, правоугаоног или елипсастог облика, међусобно наслаганих једна на другу по дужини, тако да образују полуелипсу. Листови гибња због оптерећења на савијање имају и различите радијусе кривине. По средини сви листови гибња су спојени једним централним завртњем (позиција 1, слика 2.14.) ради спречавања међусобног подужног померања листова. Такође, листови су по дужини чврсто спојени симетрично постављеним стегама (2), чиме се спречава међусобно бочно померање листова.

Да би гибан могао предавати и примати уздужне силе, мора бити са рамом или каросеријом везан преко једног крутог и једног помоћног ослонца (обично преко полуге која је са једне стране зглобно везана за рам, а са друге за гибан). Да би лиснати гибан задржао мост од окретања око своје осовине мора бити са њим круто везан. Начин везивања лиснатог гибња за осовину и рам дат је на слици 2.15.



Слика 2.15. : Везивање лиснатог гибња на возилу

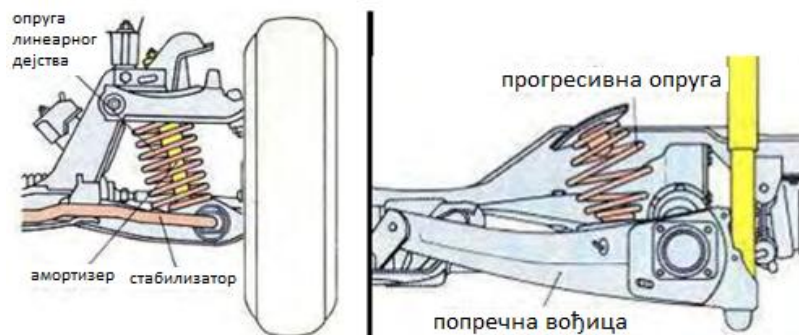
Предности ослонаца изведених у виду гибњева огледају се у чињеници да се гибњем може остварити не само еластично ослањање точкова, већ он преузима и функције механизма за вођење точка, па чак и функцију пригушивача осцилација. Дакле, овим еластичним елементима се могу на рам возила пренети све подужне силе (погонска или кочна сила на точковима), а врло добро подносе и бочна оптерећења, једном речју, омогућавају квалитетно вођење шасије.

Спиралне опруге

Завојне опруге као еластични елементи примјењују се углавном код лаких возила која имају независно ослањање. Опруге се израђују од округлог или правоугаоног профила.

Ова врста ослонаца је предодређена за примање сила искључиво у аксијалном правцу, тако да се не могу користити за примање бочних или подужних оптерећења. Из тих разлога конструкција са спиралним опругама увек садржи подужне и попречне споне, које се једним својим крајем зглобно везују за доњи ослонац опруге, а другим за каросерију. Везивањем на такав начин управо полуге примају на себе сва подужна и попречна оптерећења, растеређујући спиралне опруге.

Опруга је направљена у облику спирале од округлог опружног челика одређеног пречника, намотане по цилиндру (опруге линеарне крутости) или по елипсоиду (опруге прогресивне крутости – слика 2.16.), тако да је жица опруге напрегнута на смицање. Прогресивне опруге имају и још једну предност – ход (сабијање) је већи јер се приликом сабијања спирале слажу једна унутар друге, чиме се постиже или мања дужина опруге или већи ход при истом оптерећењу у односу на спиралне опруге. Прогресивна, односно нелинеарна крутост може да буде остварена и применом жице континуално различитог пречника, али ова врста опруга има мању примену због цене израде исте.

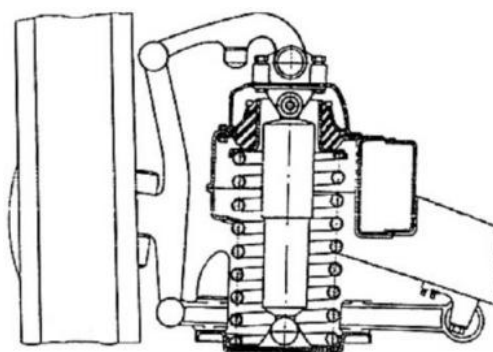


Слика 2.16. : Спиралне опруге (лево - са линеарном крутошћу; десно - са нелинеарном крутошћу)

Унутар цилиндричне спиралне опруге у принципу се постављају амортизери или још једна опруга са спиралом мањег пречника, чиме се постиже повећана крутост система.

Треба истаћи и једну карактеристику спиралних опруга, а то је да под једнаким условима дебљине и квалитета жице, већу крутост имају опруге намотане у спиралу мањег пречника од опруга са спиралом већег пречника.

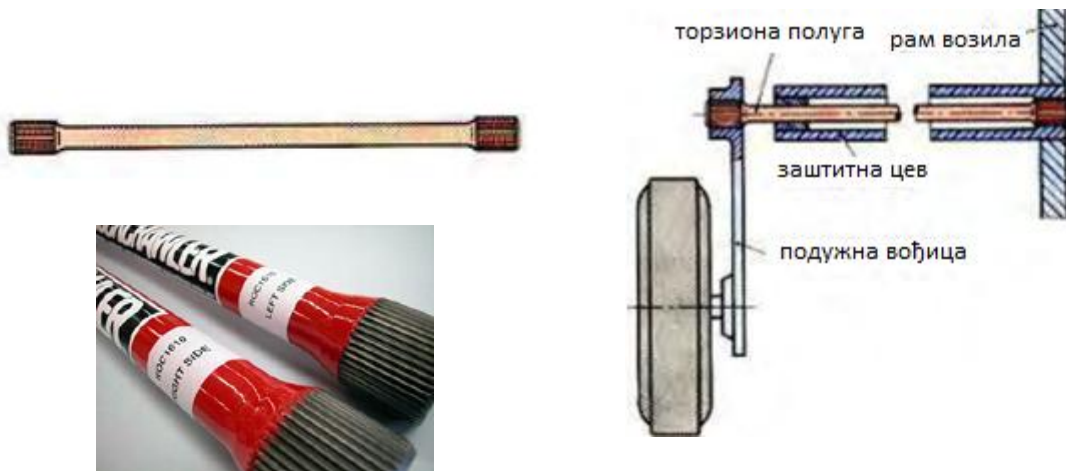
Често се у цилиндричном шупљем простору опруге уграђује телескопски амортизер, као што је ради илустрације приказано на слици 2.17. Опруге се постављају на возило са одређеним преднапоном. Тежина завојне опруге је мања од тежине еквивалентног лиснатог гибња. Завојне опруге се често примјењују заједно са лиснатим гибњевима, те им на тај начин поправљају карактеристику.



Слика 2.17. : Систем независног вешања предње управљачке осовине

Торзионе опруге

Код ових врста опруга полуга израђена од опружног челика напреже се на увијање под дејством силе на крај једне једнокраке полуге за коју је фиксирана главчина точка. Торзионе полуге су различитих конструкција: користе се пуни кружни или квадратни профили, цеви са разрезаним зидовима, пакети плоснатих четвороугаоних полуга, мада је најчешћа примена – опружни челик са пуним кружним профилем.



Слика 2.18. : Челичне торзионе опруге

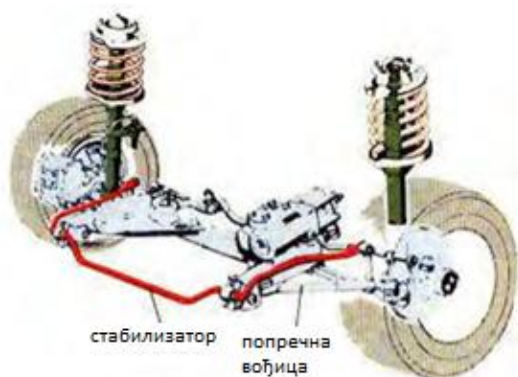


Слика 2.19. : Торзиона опруга са гуменим елементом

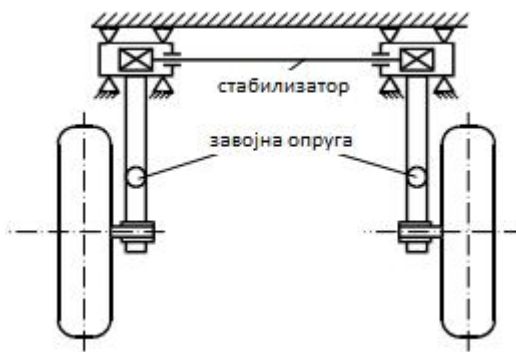
Уколико је торзиона полука кружног профила, на крајевима се налази ожлебљење чиме се иста фиксира једним крајем за рам или каросерију, а на другом крају је једнокрака полука везана за конструкцију која носи точак (чешће названа ленкер).

Торзионе опруге налазе примену како код теретних тако и код путничких возила. Код примене на тешким теретним возилима (камион Татра) или на тенковима (домаћи тенк Т 55; Т 85), торзионе опруге се пре уградње испитују на увијање, чиме им се век трајања знатно продужава.

Стабилизатори спадају у специјални вид торзионих опруга, којима се спречава превелико нагињање возила. Направљени су од опружног челика пуног кружног профила, тако да имају облик латиничног слова U. Својим средњим делом обртно се спајају са каросеријом, а крајевима за главчине или „виљушке“ точкова једне осовине. Стабилизатор торзионо реагује једино у случају када се само један од точкова на истој осовини угиба или када се каросерија возила нагиње око своје подужне осе. С обзиром да ли средина стабилизатора има мале ротације, а и крајеви угаоно померање (горе-доле), сходно померању точка, са носећим елементима се спајају гумено - металним чаурама.



Слика 2.20. : Стабилизатор као специјални вид торзионе опруге



Слика 2.21. : Шема стабилизатора

Стабилизатори се користе код свих врста возила и у комбинацији са свим видовима ослањања, изузевгибајућих и лебдећих осовина.

Пнеуматске (гасне) опруге

Ове опруге су затворени гумени елементи, испуњени најчешће ваздухом а ређе азотом, при чему се у сврху еластичности користи стишљивост затвореног гаса. За ове елементе се у пракси и литератури среће назив и ваздушни јастуци.

Гасне опруге се користе најчешће као помоћне опруге уз спиралне, а налазе примену и као самостални еластични елементи ослањања.

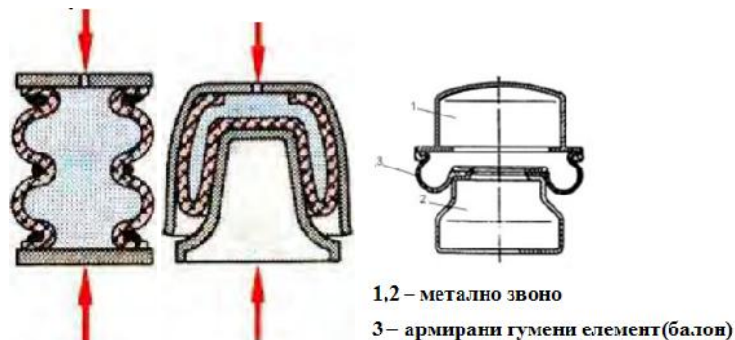
Посебан случај гасних опруга су гумени елементи отворени са једне стране, непропусно спојени на носачу, који се напајају ваздухом из ваздушних система возила. Овакав систем се већ назива ваздушно ослањање возила.

Ови еластични елементи се употребљавају код возила чије се оптерећење мења у широком дијапазону (аутобуси, тешки камиони и приколице) и код путничких возила високе класе код којих се жели обезбедити што је могуће већи комфор (Мерцедес, Цитроен, Остин итд.). Користе се и код система зависног и код система независног ослањања.

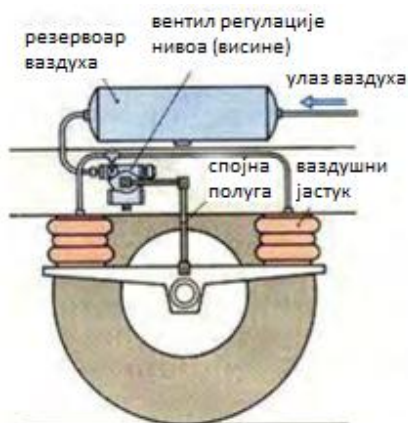
Пнеуматски еластични елементи изведени су од гуме ојачане челичним влакнима, као што је илустровано на слици 2.22. Путем промене притиска ваздуха који се налази унутар елемента аутоматски се регулише његова крутост.

Пнеуматске опруге отвореног или затвореног типа имају прогресивну линију сабијања (нелинеарну крутост), али и добро изражену способност самопригушивања осцилација и звука.

Овакав систем опруга има велику предност у односу на остале тиме што има квалитетну карактеристику за различита оптерећења и лако може да се прилагоди сваком оптерећењу променом притиска у тзв. јастуцима.



Слика 2.22. : Облици пнеуматских еластичних елемената

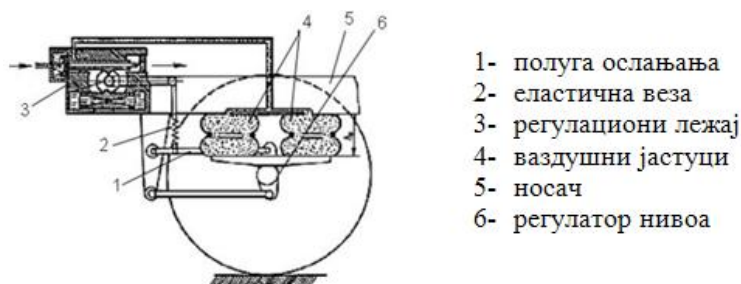


Слика 2.23. : Ваздушно ослањање



Слика 2.24. : Практична изведба гасне опруге

Систем ваздушног ослањања има веома практичну и скоро обавезну примену код система где је потребно регулисати и одржати ниво или ублажити нагињање возила, на пример код аутобуса. У том случају је у систем уграђен и један вентил – регулатор нивоа (нивостат), којим се у гасну опругу упушта ваздух када је ниво испод предвиђеног (веће оптерећење), односно испушта код мањег оптерећења. Другим речима гасне опруге су под променљивим притиском. Исто тако и сам вентил за регулацију нивоа мора да буде конструисан са променљивим пригушењем како се не би активирао код сваке ударне рупе на путу.

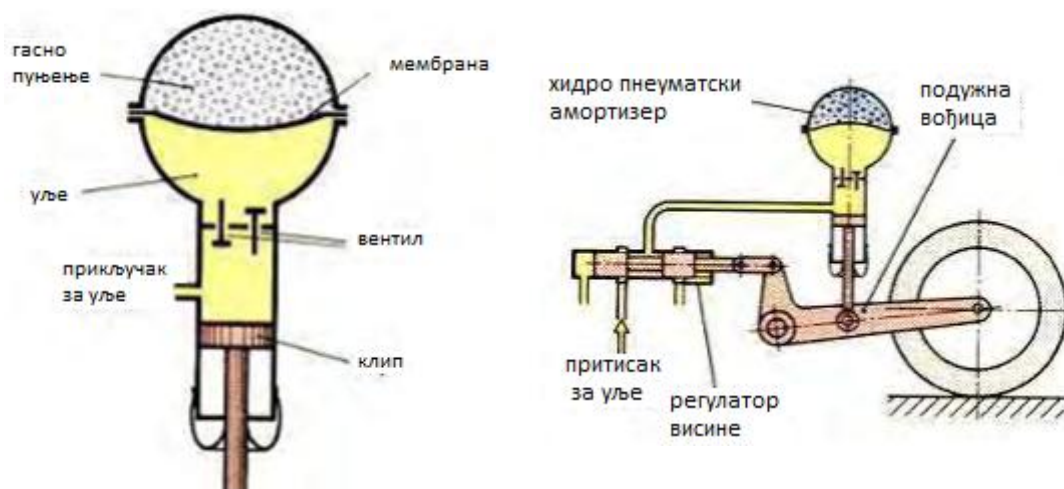


Слика 2.25. : Аутоматска регулација положаја ваздушног еластичног елемента

Овакав вид ослањања предвиђен је само за аксијална – вертикална оптерећења, тако да није у стању да поднесе никакве подужне и попречне силе возила, због чега мора да буде снабдевен и одговарајућим крутим полугама које се постављају у правцу деловања сила. Међутим посебно постављене гумене опруге (чешће названи гумени јастуци), са бочно постављеним ослонцима могу да послуже и као елементи за примање и пренос подужних или попречних сила, чиме се као помоћ пнеуматичима, постиже побољшано попречно огибљење [7].

Хидропнеуматске опруге

Комбинацијом два различита флуида, нестишљиве течности - уља и стишљивог гаса, најчешће азота, добио се хидро-пнеуматски еластични елемент. Свако померање точка преноси се на течност, а преко ње на мембрану изнад које се налази гас, и на тај начин изазива сабијање гаса на основу чега се добија дејство еквивалентно дејству пнеуматског еластичног елемента. Флуиди у коморама се налазе под притиском између 100 до 200 bar, а међусобно су одвојене гуменом мембраном.

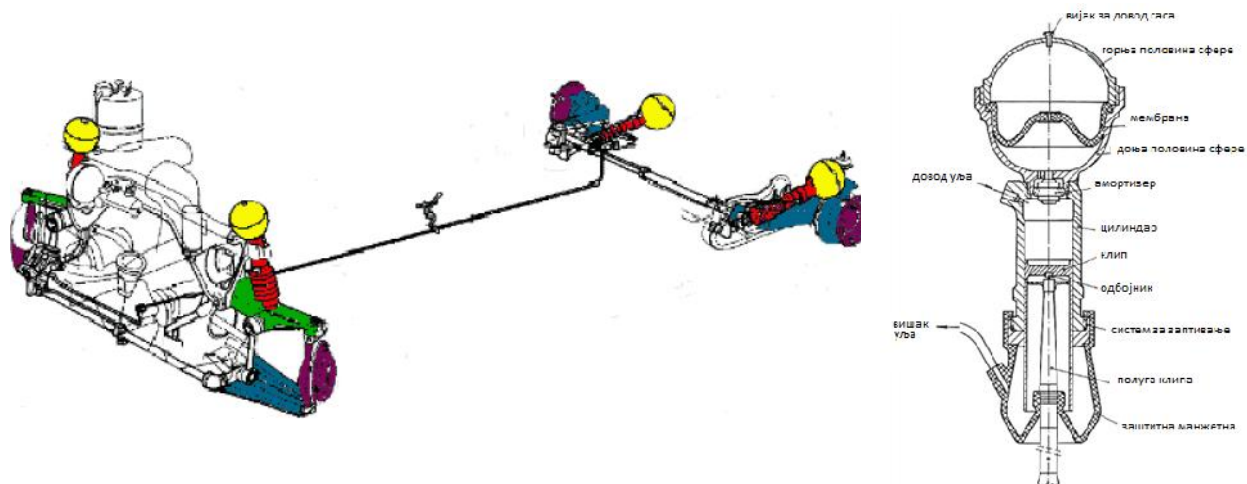


Хидропнеуматска опруга

Скица склопа хидропнеуматског огибљења

Слика 2.26. : Систем хидропнеуматског ослањања

Пример хидропнеуматског елемента ослањања који је користио Цитроен приказан је са свим детаљима на слици 2.27.



Слика 2.27. : Хидропнеуматски ослонац возила Citroen DS-19

Код хидропнеуматских система еластичног ослањања, као и код пнеуматских система ослањања, примењују се регулатори положаја надградње и регулатори крутости система ослањања. Такав један регулатор са хидропнеуматским еластичним елементом дат је на слици 2.28.



Слика 2.28. : Регулатор хидропнеуматског система еластичног ослањања

Ова врста еластичних елемената такође може квалитетно да послужи као амортизер али и регулатор нивоа, тиме што се количина уља у систему може променити зависно од оптерећења, путем посебног система са пумпом високог притиска [7, 8].

3. Избор концепта и структуре СЕО путничког возила

Под управљањем системом за ослањање аутомобила се подразумева додавање одређених уређаја систему, који ће бити у стању да реагују брзо, тачно и поуздано у сваком тренутку, дајући при томе оптималне тражене перформансе система.

Активни СЕО се генерално могу поделити на два основна типа:

- потпуно активни систем и
- полуактивни систем.

Уколико се код система за ослањање може постићи промена карактеристика опруге, или чешће, пригушног елемента, при свакој промени стања, ради се о полуактивном СЕО.

Прва регулација карактеристика пригушивача била је механичка: код ње се карактеристика мењала ручно, подешавањем вентила током хода сабијања преко клипњаче.

Други покушаји су били променом протока уља, постављањем електричних склопки које отварају или затварају отворе за протицање уља.

Систем ослањања, коме се додаје генератор активне силе (уређај који може у сваком тренутку генерисати силу зависно од информација о стању система), представља потпуно активни систем еластичног ослањања.

3.1. Полуактивни СЕО

Полуактивни СЕО омогућава управљање над појединим елементима СЕО. Полуактивни пригушни елемент или опруга представља постојећи (пасивни) пригушивач или опругу код којих се карактеристика може мењати зависно од стања система, жељеног начина управљања и експлоатационих услова кретања.

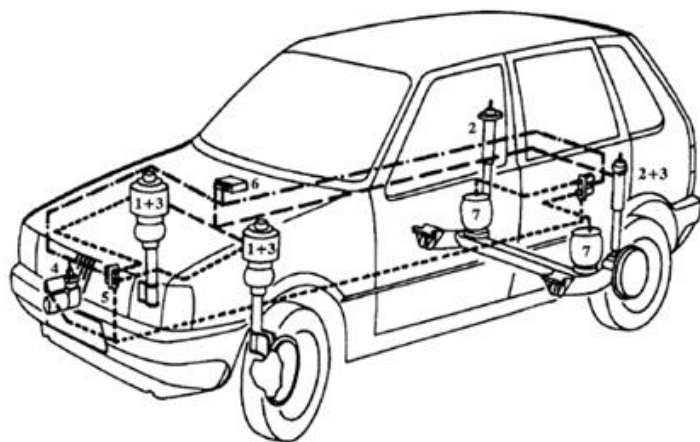
За разлику од активног, полуактивни пригушни елемент или опруга изискује мању снагу за снабдевање. То је један од основних разлога због којих је систем препоручљивији од активног.

Утолико пре, јер су резултати добијени са полуактивним задовољавајући и указују на то да се они сасвим добро, по карактеристикама, приближавају активним СЕО.

У пракси постоји више решења, а ради илустрације, на слици 3.1. је приказан је полуактивни СЕО аутомобила *Uno-Monroe*, код кога се регулација врши променом карактеристика ваздушних опруга.

Приказани систем врши самонивелацију каросерије после 45 s, а активира се после 3 s од стартовања мотора. Он за исто толико времена реагује и на промену оптерећења.

Испитивања су показала да су сензори на бази фототранзистора и индуктивности поузданији у раду од раније коришћених оптичких.



1. предњи систем ослањања са интегрисаном ваздушном опругом и амортизером,
2. задњи амортизери,
3. сензори нивоа,
4. електрични компресор,
5. електроventили,
6. ваздушни водови,
7. задње ваздушне опруге.

Слика 3.1. : Полуактивно ослањање возила Uno-Monroe [4]

Полуактивни СЕО само могу да утичу на промену вискозни коефицијент пригушења радног флуида у пригушном елементу (амортизеру), и немају могућност додавања енергије систему ослањања. Иако ограничени у свом функционисању (нпр. сила уравнотежења висине возила никада не може имати супротан смер од тренутног вектора брзине ослањања), полуактивни СЕО су јефтинији и користе далеко мање енергије, што директно утиче на економичност потрошње горива. У новије време, истраживања полуактивних СЕО су наставила да напредују у правцу побољшања њихових карактеристика, умањујући на тај начин различитости између ових и потпуно активних система еластичног ослањања.

Савремени полуактивни системи еластичног ослањања се изводе као:

1) *Дисипативни* – најчешће са регулацијом пригушења у амортизерима, а они садрже сензоре за:

- заокретање аутомобила,
- кочење (педала кочнице),
- убрзавање (педала команде за довод горива),
- брзину (излазно вратило мењача),
- бочно и подужно убрзање,
- релативно померање точкова у односу на каросерију,
- вертикално убрзање каросерије изнад сваког точка,
- вертикално убрзање точкова,
- висину каросерије од тла у карактеристичним тачкама итд.

2) *Спороактивни*

Садрже електро или хидрауличке актуаторе редно везане са опругама. Фреквентна област им је око 3 Hz. Карактеристика пригушења и/или крутости се може дискретно бирати између више нивоа у зависности од услова пута.

3) *Са нискофреквентним радним опсегом*

Крутост опруге и/или пригушење се непрекидно модулирају као одговор на нискофреквентно кретање ослоњене масе (1 - 3 Hz).

4) *Са високофреквентним радним опсегом*

Крутост опруге и/или пригушење се непрекидно модулирају као одговор на нискофреквентно кретање ослоњене масе (1 - 3 Hz) и високофреквентно кретање неослоњених маса (10 - 15 Hz).

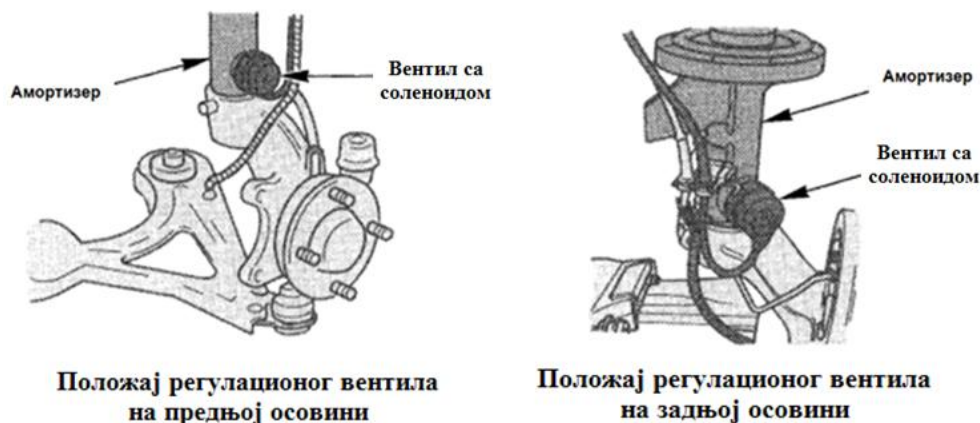
5) *Адаптивни*

Код њих се параметри система аутоматски подешавају у зависности од услова експлоатације, чиме је омогућено да се параметри опруга и пригушних елемената бирају у зависности од врсте пута [3, 4].

3.1.1. Солениодни/вентилски активирани полуактивни СЕО

Соленоидни (електромагнетни) тип полуактивних СЕО је најекономичнији тип ових система ослањања. Састоји се од соленоидног вентила који мења ток радног флуида унутар цилиндра пригушног елемента, и на тај начин мења пригушне карактеристике еластичне конструкције. Соленоиди су повезани са контролним рачунаром, који шаље команде у зависности од контролног алгоритма. Сабијање, односно кретање радног флуида (уља) кроз отворе је најчешће коришћени метод за остваривање пригушења у систему ослањања возила. Вредност примењене силе пригушења, између осталог, зависи од димензија отвора, односно шупљина кроз које се флуид креће под дејством силе која настаје дејством пригушних елемената. Дакле, сила пригушења се може мењати ако се мењају величине шупљина кроз које се креће и/или димензује других делова пригушног елемента. У пракси ово може бити постигнуто применом вентила које контролише компјутерска јединица (енгл. *Electronic Control Module* - ECM) и који имају могућност да по потреби мењају величину отвора, тј. да обезбеде „чвршће“ или „мекше“ пригушивање. На слици 3.2. је приказан положај пригушног вентила који је управљан преко електромагнета (соленоида). Управљање соленоидом се врши преко адаптивног компјутера пригушног елемента, а соленоид обезбеђује два степена, односно стања пригушења - „чврсто“ и „меко“. Степен пригушења система ослањања варира у зависности од услова вожње, као што су убрзавање, кочење, односно успоравање, скретање, вожња по неравном путу и сл. У циљу обезбеђивања траженог пригушења за различите услове вожње компјутер прикупља информације преко низа сензора. Улазни подаци се потом упоређују са познатим, односно фабричким вредностима у ROM меморији компјутера и на основу тога процесор одлучује о потребном степену пригушења. Ова техника преношења и обраде података се најчешће назива „Техника небеске удице“ (енгл. *Sky-Hook technique*). Овај вид електронске контроле се користи код система ослањања који се назива „Кадилакова компјутерски контролисана вожња“ (енгл. *Cadillac's Computer Command Ride* - CCR). Кадилаков систем са у групу система код који стање амортизера зависи од брзине

кретања возила (енгл. *Speed Depend Damper Control - SD²C*). Код овог система еластични ослонци су учвршћени при брзини од 40 km/h и опет при брзини од 97 km/h. Чврсти ослонци су такође били коришћени при поласку возила из места, до постизања брзине од 8 km/h.



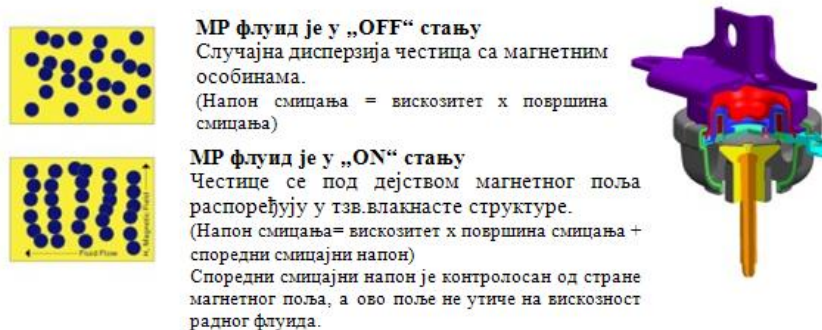
Слика 3.2. : Адаптивни пругушни соленоидни вентил

3.1.2. Магнетно реолошки пригушни елементи

Реолошке особине изражавају зависност спољних оптерећења и деформисања материјала, тј. под дејством спољашње силе честице мењају своју структуру и оријентишу се у правцу деловања силе. Ове особине су нарочито важне код одређених материја који се налазе у течном агрегатном стању.

Још један метод полуактивног еластичног ослањања новијег датума укључује магнетно реолошке пригушне елементе (енгл. *Magneto rheological damper*) који долазе од произвођача *MagneRide*. Првобитно је био развијен од стране Делфи Корпорације (енгл. *Delphi Corporation*) за потребе Џенерал Моторса (енгл. *General Motors*) и био је стандардни систем, као и многе друге нове технологије, за модел *Cadillac Seville STS* из 2002. године, као и за још неке ЦМ модел возила из 2003. Ово је била надградња за полуактивне системе CEO произвођача ЦМ, тзв. ослањање на основу аутоматског снимања услова пута помоћу система сензора на сваком точку. Овај метод ослањања омогућава, заједно са интегрисаним рачунарима велике брзине, независно мењање крутости еластичног ослањања точкова. У овом систему, који се развија већ 25 година, радни флуид пригушног елемента садржи металне честице. Преко интегрисаног рачунара, усклађеност карактеристика пригушних елемената је контролисана коришћењем електромагнета. У суштини, повећавајући проток кроз цилиндар пригушног елемента повећава се корак сабијања/издуживања, док пад протока ублажава ефекат пригушивања. Брза реакција система омогућава, на пример, да један точак „мекше“ пређе преко неравнине на путу, односно да се реакције тла мање преносе на каросерију возила [8]. Објашњење рада овог метода CEO је дато на слици 3.3.

Магнетно-реолошки (МР) метод ослањања: пригушење магнетних честица у синтетичком угљоводоничном флуиду



Слика 3.3. : MagneRide систем еластичног ослањања [9]

3.2. Потпуно активни СЕО

Потпуно активни систем ослањања представља аутоматско управљање и остварује се на тај начин што се систему додаје генератор активне силе (уређај који може у сваком тренутку да на основу добијене информације о стању система генерише силу са било којом величином и знаком). Овај уређај може бити хидраулички, хидропнеуматски, електро-хидраулични, или неког другог типа. Уређај мора имати спољашњи извор енергије.

Принцип рада је следећи: при кретању аутомобила по неравнинама, преко СЕО се преносе осцилације и побуде. Побуде изазивају осциловање система. Сензори мере величине динамичких сила, оптерећења и угиба, заокретања точкова као и брзине и убрзања аутомобила, ваљање и галопирање ослоњене масе. Ове вредности се преносе у микрорачунар, а одавде се као излаз добија информација о величини потребне силе којом је потребно да одговори СЕО на побудну силу. Цео систем је изузетно брз (око 10 ms).

Такође је важно напоменути да систем делује независно на све тачкове, па су тиме готово потпуно избегнуте (анулиране) осцилације каросерије аутомобила. Дакле, активни СЕО користи посебне актуаторе који могу да изврше независну силу на СЕО како би се побољшали услови вожње. Савремени СЕО аутомобила са пасивним компонентама константних коефицијената крутости и пригушења могу да понуде само компромис између три конфликтна критеријума: доброг „држања пута“, поузданог превоза терета и комфора путника.

Мишелинов Активни точак (енгл. *Michelin's Active Wheel*) поседује електромотор који има функцију ослањања, а који се налази у склопу самог точка и контролише дистрибуцију обртног момента, стабилност, маневре скретања, ваљање, галопирање и вертикално померање тог точка.

Спортски аутомобили обично имају круте, грубе СЕО са лошим возним карактеристикама, док луксузни седани имају еластичније ослањање, али лошу управљивост. Због захтева економичности погона и смањења емисије штетних гасова, путничка и доставна возила

постају све лакша. Разлика између масе потпуно оптерећеног и неоптерећеног возила постаје тако велика, да садашњи системи ослањања не могу да издрже опсег оптерећења на ефикасан начин. Ова неефикасност изазива озбиљно погоршање квалитета вожње, руковања теретом и управљања аутомобилом. Зато се развијају активни системи ослањања који треба да обезбеде различите карактеристике понашања возила у зависности од услова пута и то без прекорачења максималног хода СЕО [5, 10].

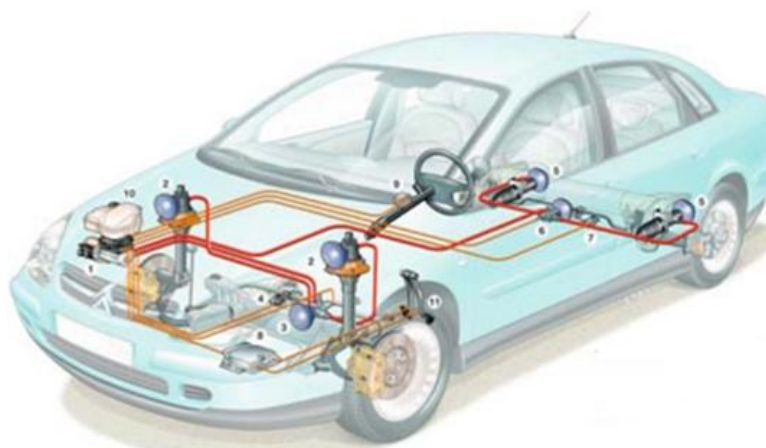
Активни СЕО има способност да се континуално прилагођава променама у условима пута. Уз напредне даваче и микропроцесоре који стално обезбеђују информације, он адаптивно проширује скуп параметара конструкције система сталним праћењем и самоприлагођавањем, континуирано мењајући свој карактер. Промена сопствених карактеристика, као одговор на промене услова пута, омогућава активном СЕО да обезбеди: одличну управљивост, боље држање пута, добар одзив аутомобила и већу безбедност. Неки активни СЕО, тзв. системи са предвиђањем (енгл. *preview*) користе ласерске системе за мерење неравнина пута испред аутомобила, систем повратне спреге информација и претходну информацију давача да би се остварио адекватан одзив возила.

3.2.1. Хидраулички активни СЕО

Рад хидрауличних активних СЕО се налази под контролом хидрауличних серво механизма. Хидраулични притисак на серво се добија од радијалне клипне пумпе високог притиска. Сензори континуално прате кретање и ниво возила у вожњи, непрекидно снабдевајући рачунар новим подацима.

Када рачунар прими и обради податке, истовремено се даје команда хидрауличним серво моторима, који су монтирани поред сваког точка. Готово одмах, серво-регулисано ослањање ствара контра силе које обезбеђују нагињање, вертикално спуштање или вертикално подизање возила.

Фирма *Citroen* први пут је, крајем осамдесетих година прошлог века, применила хидро-активни систем СЕО (*Hydroactive*), на свом серијском аутомобилу *Citroen XM*. Сматра се да је то први серијски аутомобил у свету који је имао интелигентни хидраулични СЕО. Побољшана верзија, *Hydroactive II*, појавила се неколико година касније на аутомобилу *Citroen Xantia*, док се активни хидраулични СЕО треће генерације, *Hydroactive III*, данас налази на аутомобилу *Citroen C5*, који је приказан на слици 3.4.



- | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|---|
| 1. Интегрисана хидр. јединица | 7. Задњи давач позиције | <div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: yellow; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Електронски
<div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: red; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Хидраулични |
| 2. Стубови предњег CEO | 8. Интерфејс система | |
| 3. Предњи регулатор крутости | 9. Давач на точку управљања | |
| 4. Предњи давач позиције | 10. Резервоар флуида | |
| 5. Задњи хидропнеум. цил. | 11. Команде за довод горива и кочење | |
| 6. Задњи регулатор крутости | | |

Слика 3.4. : Систем активног ослањања аутомобила Citroen C5

На аутомобилима марке *Cadillac*, активни CEO појавили су се 1996. године. То је систем који континуално прати услове пута (енгл. *Continuously Variable Road-Sensing Suspension - CVRSS*), користи низ давача који активирају хидрауличне амортизере на сва четири точка. Систем се прилагођава условима пута у делићу секунде.

Почев од модела из 1999. године, спортски аутомобил *Land Rover Discovery*, серије II, садржи активни систем ослањања, тзв. систем за активно унапређење услова скретања (енгл. *Active Cornering Enhancement - ACE*). То је први активни CEO намењен спортским аутомобилима.

Користи хидраулични систем који замењује предње и задње стабилизаторе, при чему се момент увијања на каросерију преноси преко два склопа типа полуга- клип. Систем може да се супротстави бочном убрзању од $1g \text{ m/s}^2$ у року од 250 ms.

У пракси, овакв активан CEO је увек обухватао подсистеме за ауто-регулацију нивоа ослањања (енгл. *Self-levelling suspension*) и за прилагођавање висине ослањања (енгл. *Height adjustable suspension*), који су битни са аспекта аеродинамичности возила, посебно у условима вожње великим брзинама када возило „урања“.

Технологија компјутерски контролисаног активног CEO (енгл. *Computer Active Technology Suspension - CATS*) усклађује најбољи однос између квалитета вожње и управљања, а то постиже анализирањем услова пута и извршавањем до 3.000 подешавања CEO у секунди преко електронски контролисаних пригушних елемената (амортизера).

Mercedes-Benz уграђује активни CEO, тзв. систем активне контроле каросерије (енгл. *Active Body Control - ABC*) у свој модел *CL500* из 2000. године. Систем користи тринаест

различитих давача који шаљу информације ка четири хидраулична серво-цилиндра постављена изнад сваке завојне опруге. Један такав систем је приказан на слици 3.5.

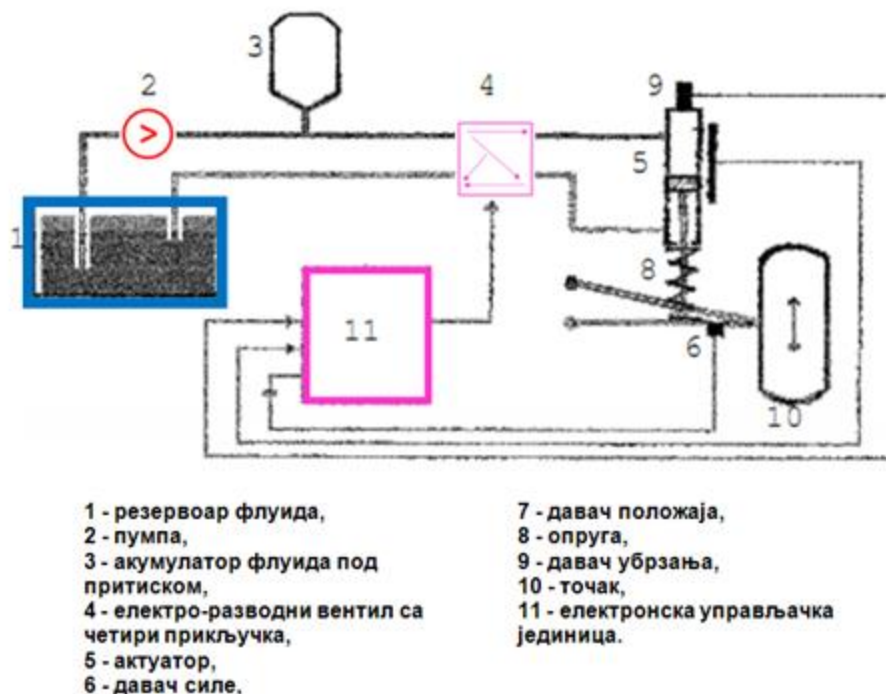


Слика 3.5. : ABC систем активног еластичног ослањања на моделу DaimlerChrysler [12]

Принцип рада електронски управљаног хидрауличног СЕО

Код савремених система ослањања опруга изолује кретање точка у односу на каросерију возила, а пригушни елемент, односно амортизер пригушује осцилаторно кретање узроковано развлачењем или сабијањем опруге. Заправо, каросерија никада није апсолутно изолована од вертикалног кретања точкава. Све док компензациони уређај апсорбује и преноси кинетичку енергију на шасију, која настаје при наиласку возила на неравнине на коловозу, каросерија ће да прати вертикално кретање точкава са одређеним кашњењем и свакако са мањим померајима.

Алтернатива за такав механички, пасиван систем ослањања, јесте тзв. активни систем ослањања код којег је комбинација амортизера са опругом замењена комбинацијом хидрауличног актуатора са опругом. Као и код амортизера, цилиндар актуатора везан је за каросерију. Унутар цилиндра налази се клип везан за осцилујуће раме (спону) точка, као што је приказано на слици 3.6. Процесор електронске управљачке јединице (ECU) управља смером и брзином кретања клипа посредством електроventила са 4 прикључка. Његов управљачки алгоритам користи више улазних података ради одређивања управљачког сигнала за актуатор на сваком точку посебно.



Слика 3.6. : Систем управљања хидрауличним активним СЕО

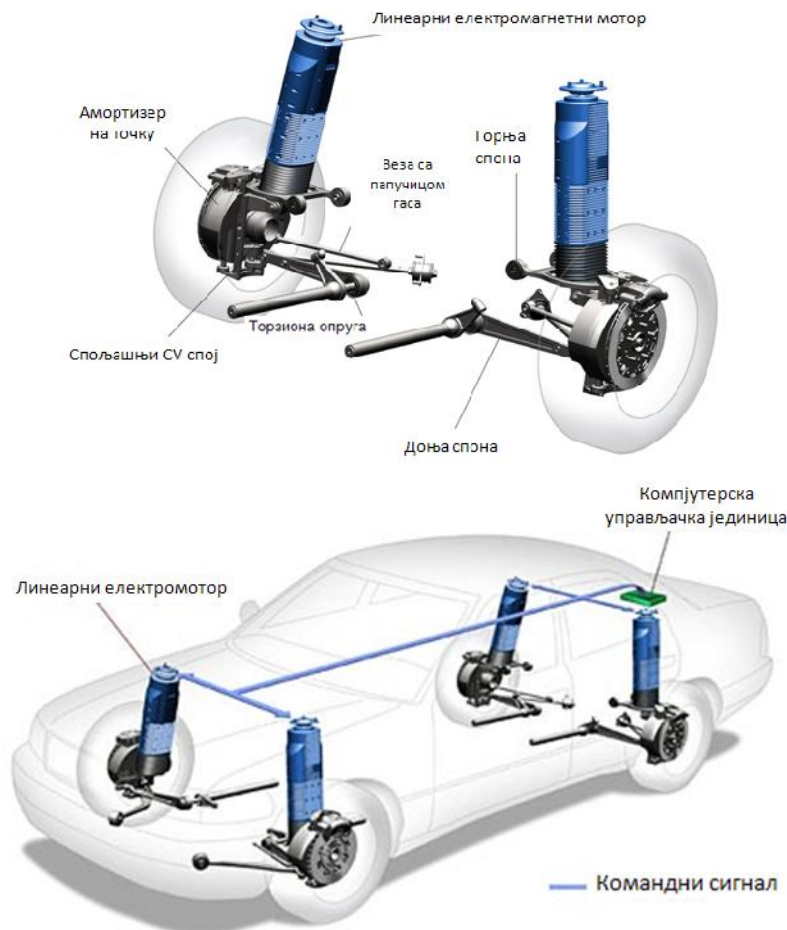
Датчик сила (6) на актуатору (5) даје информацију о вредности вертикалне силе. Датчик положаја (7) даје информацију о положају клипа у односу на одређени репер, а датчик убрзања (9) постављен на доњој спони точка даје информацију о тренутној промени брзине вертикалног кретања. На основу тих информација процесор у електронској управљачкој јединици (11) распознаје да ли точак понире у удубљење или се подиже због избочине на подлози. Ако точак понире у удубљење, управљачки систем може да усмери флуид брзо у горњи део актуатора ради потискивања клипа са точком наниже, на тај начин одржавајући вертикални положај каросерије на непромењеном нивоу. Ако се детектује кретање точка навише ЕСУ усмерава флуид у доњи део цилиндра да увлачи клип са точком, опет одржавајући непромењен вертикални положај каросерије.

Крајњи ефекат овог управљања са праћењем је мирно кретање каросерије возила, без удара и осцилација, без обзира на неравнине на подлози. На тај начин је испуњен један од основних захтева удобне вожње.

3.2.2. Електромагнетни регенеративни активни СЕО

Овај тип активног СЕО користи електромагнетне моторе са линеарном карактеристиком који су монтирани на сваки пнеуматик. Овакав систем пружа изузетно брз одзив, и омогућава регенерацију утрошене енергије коришћењем електромотора као генератора. Овакво решење готово превазилази проблеме спорог одзива и велике потрошње енергије у хидрауличним системима, а тек недавно су ове карактеристике система доказане, на моделу фирме Боуз (енгл. *Bose*). Оснивач ове компаније и проналазач овог конструктивног

решења је бивши професор Ем-Ај-Ти Универзитета (MIT), где је низ година радио на развијању несвакидашњих система еластичног ослањања. Један овакав СЕО је илустрован на слици 3.7. Технологија електронски контролисаних система активног еластичног ослањања (енгл. *Electronically controlled active suspension system* - ECASS) је деведесетих година патентирана од стране Центра за електромеханику Универзитета у Тексасу и развијена од стране компаније Л-3 (енгл. *L-3 Electronic Systems*), а првобитно је коришћена у војним возилима. Америчка војна возила са погоном на свим точковима (енгл. *The High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle* – HMMWV) опремљена ECASS системом су у свим условима испитивања премашила очекивања са аспекта перформанси – снаге, стабилности и апсорбованих сила са подлоге [11].



Слика 3.7. : Електромагнетни СЕО фирме BOSE (компоненте и изглед у возилу) [12]

4. Одређивање карактеристика и параметара изабраног СЕО коришћењем симулационих модела

Када би се осцилаторни систем „возило“ посматрао без упрошћења, тај систем би био теоријски представљен просторним континуумом – системом са бесконачно много степени слободе. Било би практично немогуће обухватити све интеракције међу системима возила које су присутне у различитим режимима његовог кретања, с обзиром да се реално возило састоји од већег броја система који, механички гледано, представљају различите континууме изложене дејству различитих процеса. Без одређених, јасно сагледаних упрошћења, овакав систем би било практично немогуће моделирати и механички решити. У прорачунима возила уопште, а нарочито у динамици возила, неопходна је примена нумеричке математике и симулационих техника.

Аналитичке методе решавања једначина кретања (диференцијале једначине другог реда), налазе примену у линеаризованим моделима осциловања дискретних маса. То су једначине у којима фигуришу само доминантни степени слободе, најчешће један или два. Овим методама је могуће решити проблеме сопствених вредности или пак интегралити једначине (највише две спрегнуте) за неке једноставне, аналитички задате побуде (проста хармонијска, степ, линеарна и сл.) [1].

За системе са три или више степени слободе, за решавање једначина кретања, користе се нумеричке методе интеграљења система диференцијалних једначина. Данас су на располагању бројни софтверски пакети (MATCAD, MATLAB) којима се врши дигитална симулација интеграљења.

Циљ нумеричких израчунавања код осцилаторних система је одређивање карактеристика сопствених и принудних осцилација система, што се постиже решавањем система диференцијалних једначина кретања у различитим доменима (временски, фреквентни).

4.1. Регулисање у процесима вертикале динамике

У овом домену процеса регулисања и управљања моторним возилом регулише се вертикални ход СЕО. Примарни разлози за увођење полуактивног или активног система ослањања су повећање осцилаторне удобности и минимизирање промене динамичких реакција тла. Конструктори су дуго радили на развијању СЕО код кога одређена комбинација карактеристика крутости и пригушења доводи до „компромиса“ између стабилности и удобности.

Активни системи еластичног ослањања захтевају ангажовање одређене снаге (бар неколико kW). Полуактивни системи су по питању додатне снаге много мање захтевни. И једни и други имају ограничен радни опсег, тј. подручје у коме је могуће вршити контролу и регулисање. И за једне и за друге основни проблем представља регулисање хода

елемената система у области виших фреквенци, тј. у области сопствене учестаности неослоњене масе и виших вредности.

Регулисање хода СЕО обично подразумева промену карактеристике амортизера. Ова, пригушна карактеристика, се мења у одређеном дијапазону. Најједноставнија су извођења активног СЕО прве генерације где се укључивањем електромотора мења карактеристика амортизера. Затим долази друга генерација – електромагнетни системи који су у стању да брже мењају пригушну карактеристику амортизера (дискретна, ступњевита промена). Код активних СЕО треће генерације се примењују пропорционални пригушни вентили који доносе достигнућа најсавременије електронике и сензорских система. О овим конструктивним решењима СЕО ће бити више речи у остатку рада.

Важно је рећи да између улазне и излазне функције постоји одређена фазна разлика коју дефинише преносна функција система. Такође је битно знати фазу преносне функције и извести промену регулисане величине у интервалу фазног кашњења одзива.

Следеће питање које се поставља је како активни СЕО реагује на неравнину на путу. При наиласку на рупу, да не би дошло до губљења контакта између точка и подлоге, пнеуматик треба да буде потиснут наниже. При наиласку на избочину (брег), да не би дошло до ударног оптерећења, треба да буде потиснут навише. Да би ово било омогућено, амортизер треба да генерише пригушну силу у облику:

$$F_a = kv_{rel} + k_a v ,$$

где су:

k – пригушна карактеристика конвенционалног амортизера, тј. пасивно деловање амортизера, константа,

v_{rel} – релативна брзина између ослоњене и неослоњене масе; при чему неослоњена маса обухвата масу точкава и половину масе СЕО, а ослоњена маса половину СЕО и масу возача,

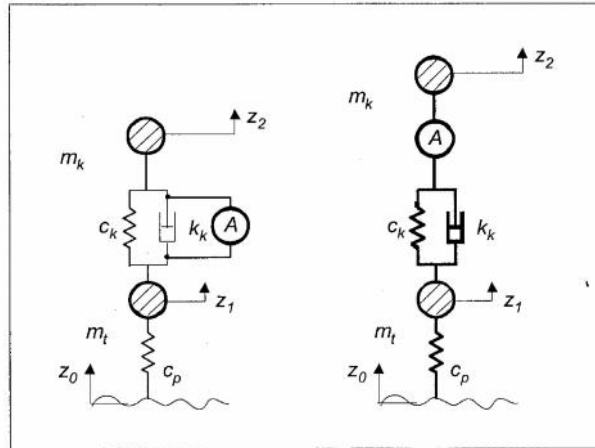
k_a – пригушна карактеристика активног деловања амортизера, променљива која се регулише,

v – брзина ослоњене масе.

Вредност коефицијента k_a највише зависи од смера брзине v_{rel} .

Примена адаптивног полуактивног система нема велике захтеве у погледу снаге мотора нити технолошке сложености регулационог система.

На слици 4.1. је, на осцилаторном моделу возила - моделу са две масе, приказан систем полуактивног и активног СЕО.



Слика 4.1. : Шематски приказ полуактивног и активног назавног ослањања

Величине k и k_a су међусобно зависне, па један од могућих аналитичких облика за пригушну силу у полуактивном систему изгледа овако:

$$F = (1 - p)k_a \dot{z}_2 + pk(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) .$$

Дакле, полуактивни систем регулише релативну брину између ослоњене и неослоњене масе, а активни брзину ослоњене масе. Величина p се креће у интервалу $(0,1)$. Када је приоритет комфор, p треба да има вредности које су ближе нули, а када је приоритет стабилност (брзи, спортски аутомобили) p узима вредности ближе јединици.

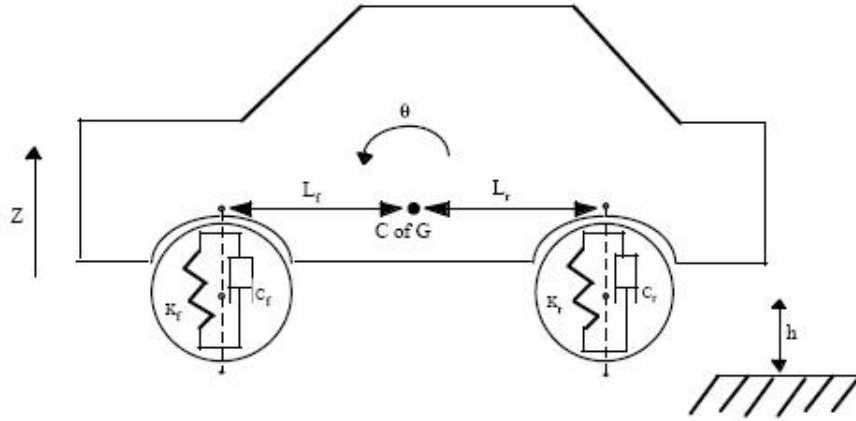
У току вожње, вредности за p из одређеног интервала бира адаптивни контролер. За његов рад је потребно да постоји информација о промени динамичке силе. Регулисати промену динамичке силе није једноставно. У последње време све више се користе неуронске мреже, тзв. неуро-фази моделирање (енгл. *neuro-fuzzy*), чиме се постиже најједноставнији математички модел, односно ефикасније решавање проблема.

У проблемима осцилација аутомобила доминирају сопствене фреквенце ослоњене масе (ред величине 1 Hz) и неослоњене масе (ред величине 10 Hz). Пожељно је да разлика између ових сопствених фреквенци буде што већа како би изолованост осциловања маса била већа. При математичком моделирању карактеристика пригушења, посебну пажњу треба посветити опсегу фреквенца изнад 10 Hz. Ово се практично своди на проблем одређивања режима рада актуатора, ознака A на слици 4.1., елемента који примајући споља енергију и тоса регулисаним прихваћеним нивоом, компензује разлику улазне – побудне и жељене – излазне вредности. О конструкцији и начину функционисања актуатора више у поглављу 6 овог мастер рада [1, 10].

4.2. Карактеристике и параметри MATLAB *Simulink* модела возила

Дводимензионални модел у подужној равни (x, z) возила узима у обзир вертикална померања ослоњених и неослоњених маса, као и угаоно померање око попречне осе у (галомирање).

Поједностављени модел са два степена слободе, који се састоји од независног предњег и задњег вертикалног ослањања, приказан је на слици 4.2.



Слика 4.2. : Двоосовински модел возила са два степена слободе [13]

Код модела са слике 4.2. предњи и задњи CEO је конструисан као систем са опругама и амортизерима. Детаљнији модел би садржао и модел точка и нелинеарност амортизера која се јавља нпр. при убрзавању – тада је степен пригушења већи током циклуса развлачења него приликом сабијања. Каросерија има два степена слободе, као што је већ напоменуто. Они су представљени на моделу кроз четири стања: вертикално померање, вертикална брзина, угаоно померање и угаона брзина приликом појаве која се назива галомирање. Потпуни, сложенији модел са шест степени слободе се може имплементирати коришћењем алгебарских система којима би се приказале трансформације оса и прорачуни сила/брзина/померања. Компензација реактивних сила које потичу од тла, односно вертикално померање предњег CEO је даго у једначини (1):

$$F_{front} = 2k_f(L_f\theta - z) + 2c_f(L_f\dot{\theta} - \dot{z}) \quad (1)$$

F_{front}, F_{rear} – реактивне силе тла које делују на предњи/задњи део возила,

k_f, k_r – константе опруге, тј. коефицијенти крутости,

c_f, c_r – коефицијенти пригушења,

L_f, L_r – осно растојање од тежишта до предње/задње осе точкова,

$\theta, \dot{\theta}$ – угао ротације око осе у (галомирање),

$z, \dot{z}$ – вертикални ход каросерије и степен промене висине CEO.

Удео галопирања, ротације око попречне осе возила је дат у једначини (2):

$$M_{front} = -L_f F_{front} \text{ - момент галопирања који делује на предње ослањање.} \quad (2)$$

Једначина (3) садржи изразе који се односе на ослањање на задњој осовини.

$$F_{rear} \approx -2k_r(L_r\theta + z) - 2c_r(L_r\dot{\theta} + \dot{z}) \quad (3)$$

$M_{rear} = L_r F_{rear}$ - момент галопирања који делује на задње ослањање [13, 1].

Резултујуће силе и моменти који се јављају приликом кретања возила, у складу са Другим Њутновим законом, су дате у једначини (4).

$$m_b \ddot{z} = F_{front} + F_{rear} - m_b g \quad (4)$$

$$I_{yy} \ddot{\theta} = M_{front} + M_{rear} + M_y$$

m_b – маса надградње,

M_y – динамички момент галопирања настао приликом убрзавања возила,

I_{yy} – момент инерције у тежишту, $I_{yy} = m_b \cdot \rho_y$, где је ρ_y полупречник инерције за осу у.

Напомена: усвојене ознаке на слици 4.2. и у једначинама (1-4) су неуобичајене, односно обично се крутост опруге обележава симболом c , а коефицијент пригушења симболом k , али због усаглашености модела са моделом на коме ће бити извршена симулација (поглавље 7) је уведен управо овај начин обележавања.

5. Дефинисање шеме и алгоритма управљања активним СЕО

Алгоритми, односно шеме управљања и контролисања рада система активног ослањања аутомобила у складу са условима вожње се остварује помоћу одређених метода, односно модула управљања. То су данас углавном софтверски пакети, који се базирају на принципима управљања који се заснивају на системима повратних спрега (повратних информација). Неке основне методе које се користе у компјутерским јединицама возила су објашњене у овом поглављу.

5.1. Примена метода H_∞ и Mu у управљању активним СЕО

Конвенционални пасивни СЕО користе опругу и амортизер између каросерије и склопа точка, представљајући компромис између супротстављених показатеља перформанси возила (комфор посаде возила, држање пута и сл.) и хода СЕО. Активно ослањање дозвољава пројектанту да балансира ове супротстављене циљеве коришћењем хидрауличних актуатора, контролисаних путем повратне спреге, између каросерије и склопа точка.

Дизајнирање активног СЕО за четвртински модел возила коришћењем H_∞ контролне, односно управљачке методе је веома битно при утврђивању перформанси одабраног система ослањања.

У овом одељку ће бити објашњени поступци који се користе у програмском пакету MATLAB, а конкретна примена објашњених контролних (управљачких) метода ће бити приказана у глави 7 овог рада. Биће уочен компромис између удобности вожње, тј. минимизирања хода СЕО, и вертикалног померања СЕО са циљем остваривања бољих перформанси истог [13].

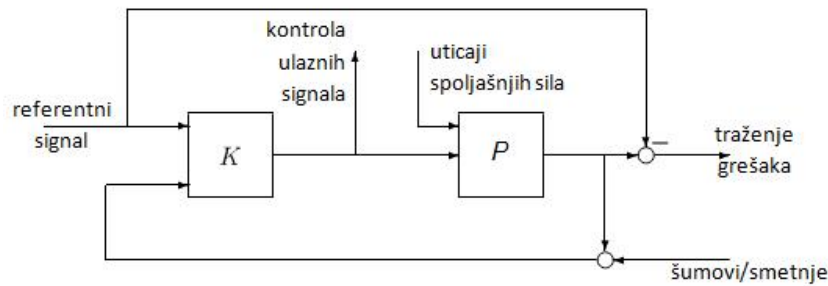
5.1.1. H_∞ метода у контролној теорији

H_∞ метода (енгл. *H-infinity*) је принцип који се користи у контролној теорији за синтезу контролера зарад постизања жељене крутости система или стабилизације. За коришћење H_∞ методе корисник изражава контролни проблем као проблем математичке оптимизације (математички модел који треба оптимизирати) и потом проналази контролер који решава задати проблем. H_∞ техника има предност над класичним контролним техникама јер је лако примењива на проблеме везане за мултиваријабилне системе код којих се јављају спреге између различитих канала. Са друге стране, мане ове методе су неопходност високог нивоа математичког знања и добро познавање модела који се контролише и његових особина. Формулација задатог проблема је од велике важности, пошто ће било који коришћени контролер бити „оптималан“ само у унапред задатим, односно формулисаним условима, што је изузетно важно код нелинеарних ограничења.

Термин H_∞ потиче од назива математичког простора, односно интервала над којим се одвија оптимизација: H_∞ је интервал аналитичких функција у виду матрица, чије зависне

променљиве узимају вредности од нуле до бесконачности, тј. $s \in (0, +\infty)$, где је s нека зависна променљива.

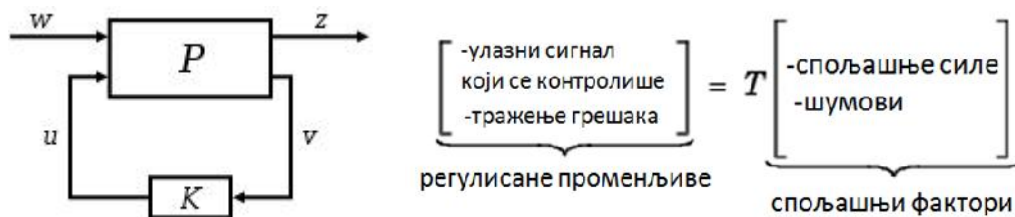
Истовремену оптимизацију карактеристика крутости и стабилизацију је тешко постићи. Један метод којим је ово донекле постигнуто је H_∞ обликовање затворене петље (слика 5.1.). На тај начин дизајнер контроле може да примени класични концепт образовања петље на мултиваријабилне фреквентне одзиве, а све то са циљем добијања добрих перформанси крутости, а потом да се тај сигнал оптимизира у близини пропусног опсега система како би се постигли услови у којима је крутост стабилна. За решавање ових проблема су доступни комерцијални софтвери.



Слика 5.1. : Типична затворена петља у контролној теорији [13]

Формулација проблема

Пре свега, да би се формулисао проблем који треба решити, неопходно је представити процес према следећој стандардној конфигурацији:



Слика 5.2. : Формулација проблема

Блок јединица P има два улазна сигнала, спољашњи сигнал w , који укључује референтни сигнал и сметње, и обрађену променљиву u . Постоје и два излаза, сигнали грешке z које треба минимизирати, и измерена променљива v , која се прати да би се задати систем контролисао. Променљива v се користи за израчунавање манипулисане, тј. обрађене променљиве u . P и K су матрице, а остало су претежно вектори.

У формулама, систем је:

$$\begin{bmatrix} z \\ v \end{bmatrix} = \mathbf{P}(s) \begin{bmatrix} w \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11}(s) & P_{12}(s) \\ P_{21}(s) & P_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w \\ u \end{bmatrix}$$

$$u = \mathbf{K}(s) v$$

На основу претходних једначина, могуће је изразити зависност z од w као:

$$z = F_\ell(\mathbf{P}, \mathbf{K}) w$$

Линеарна трансформација (енгл. *lower linear fractional transformation*) F_ℓ је дефинисана на следећи начин:

$$F_\ell(\mathbf{P}, \mathbf{K}) = P_{11} + P_{12} \mathbf{K} (I - P_{22} \mathbf{K})^{-1} P_{21}$$

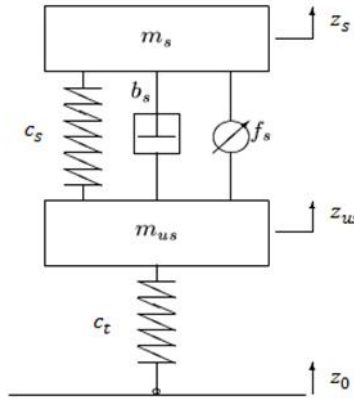
Дакле, суштина H_∞ контролне методе је проналажење таквог контролера $\mathbf{K}$ који би испунио услов минимизирања функције $F_\ell(P, K)$ у складу са условом бесконачности. Услов бесконачности функције матрице $F_\ell(P, K)$ се дефинише као:

$$\|F_\ell(\mathbf{P}, \mathbf{K})\|_\infty = \sup_{\omega} \bar{\sigma}(F_\ell(\mathbf{P}, \mathbf{K})(j\omega))$$

Где је $\bar{\sigma}$ максимална јединична вредност матрице $F_\ell(P, K)(j\omega)$.

Четвртински равански модел возила контролисан преко H_∞ методе

На слици 5.3. је приказан четвртински модел возила са циљем утврђивања динамичких једначина активног СЕО.



Слика 5.3. : Четвртински равански модел возила

На слици 5.3. ослоњена маса m_s представља каросерију возла и половину система ослањања, а неослоњена маса m_{us} склопове точкова и половину СЕО. Опруга, крутости c_s , и амортизер b_s , монтирани између каросерије возила и склопа точка, представљају пасиван систем еластичног ослањања, док опруга крутости c_t служи за моделирање стишљивости, односно компресибилности пнеуматика. Променљиве z_s , z_{us} и z_0 представљају вертикално померање каросерије, и реакције тла, респективно. Сила f_s , kN, која се јавља између ослоњене и неослоњене масе, се контролише преко повратне спреге, односно на основу добијених повратних информација, и представља активну компоненту СЕО. Динамика актуатора је занемарена у овом примеру, али се заснива на претпоставци да је контролни сигнал управо сила f_s . Утврђивањем релација:

$$\ddot{z}_1 = \dot{z}_s, \ddot{z}_2 = \dot{z}_s, \ddot{z}_3 = \dot{z}_{us}, \ddot{z}_4 = \dot{z}_{us},$$

се утврђују диференцијалне једначине објашњавају динамичке карактеристике четвртинског модела возила:

$$\dot{z}_1 = z_2,$$

$$\dot{z}_2 = -\frac{1}{m_s} [c_s(z_1 - z_3) + b_s(z_2 - z_4) - f_s],$$

$$\dot{z}_3 = z_4,$$

$$\dot{z}_4 = \frac{1}{m_{us}} [c_s(z_1 - z_3) + b_s(z_2 - z_4) - c_t(z_3 - z_0) - f_s].$$

Линеарни, временски инваријантан четвртински модел возила, *qcar*, је конструисан на основу једначина кретања и вредности одређених параметара. Улазне величине поменутог модела су сила која се јавља на актуатору и реакције тла, а излази су вертикално померање каросерије, убрзање и вертикално померање система ослањања. Матрица која се користи у софтверском пакету MATLAB има следећи облик:

$$A_{12} = [0 \ 1 \ 0 \ 0; [-c_s \ -b_s \ c_s \ b_s]/m_s];$$

$$A_{34} = [0 \ 0 \ 0 \ 1; [c_s \ b_s \ -c_s \ -c_t \ -b_s]/m_{us}];$$

$$B_{12} = [0 \ 0; 0 \ 10000/m_s];$$

$$B_{34} = [0 \ 0; [c_t \ -10000]/m_{us}];$$

$$C = [1 \ 0 \ 0 \ 0; A_{12}(2,:); 1 \ 0 \ -1 \ 0; 0 \ 0 \ 0 \ 0];$$

$$D = [0 \ 0; B_{12}(2,:); 0 \ 0; 0 \ 1];$$

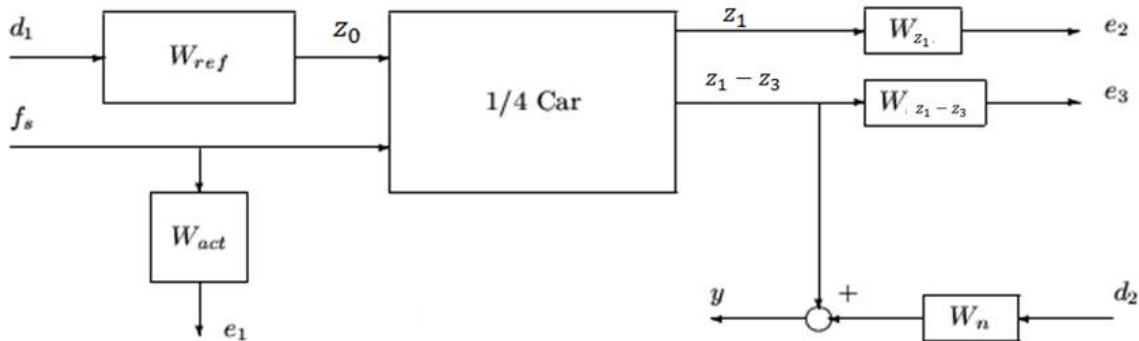
$$qcar = ss([A_{12}; A_{34}], [B_{12}; B_{34}], C, D).$$

Познато је да преносна функција убрзања има инваријантну тачку при учестаности осциловања точка од 56.7 rad/s. Слично томе, преносна функција вертикалног померања СЕО има инваријантну вредност при учестаности осцилација од 23.3 rad/s. Компромис између удобности вожње и вертикалног хода СЕО се јавља управо због немогућности одржавања вредности обе преносне функције блиским вредностима учестаности осциловања точка и у нискофреквентној области [13].

Дизајн линеарних контролера ослањања који стављају акценат или на перформансе удобности или на добру компензацију динамичких сила, тј. реакција тла је објашњен у наредном тексту. Овај тип контролера се дизајнира управо коришћењем линеарне H_∞ синтезе.

Тзв. тежинске (енгл. *Weighting*) преносне функције имају две улоге у H_∞ модулу контролисања: ове функције дозвољавају директно поређење различитих жељених перформанси са истим критеријумом (нормом), и обезбеђују да информације о

учестаностима осциловања буду укључене у анализу. Блок дијаграм повезивања H_∞ контролне методе са проблемом активног ослањања је приказан на слици 5.4.



Слика 5.4. : Блок дијаграм H_∞ контролне методе која је имплементирана у систем активног еластичног ослањања возила

Добијене излазне вредности или повратни сигнал y је вертикално померање CEO $z_1 - z_3$. Контролер се укључује када добије сигнал, односно на појаву силе актуатора f_s . Блок W_n представља шуме и грешке који се јављају у мерном ланцу. W_n је подешен на вредност грешке мерења од 0.01 m.

$$W_n = 0.01 \text{ m}; W_{\text{ref}} = 0.07;$$

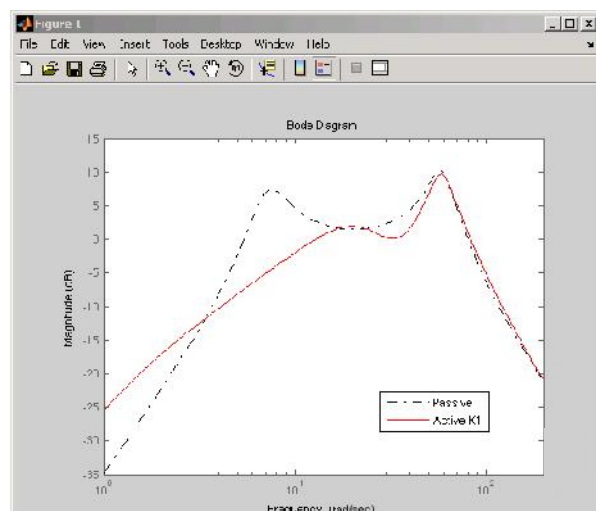
У реалнијим анализама, величина W_n би зависила од учестаности осциловања и користила би се за утврђивање грешака сензора вертикалног померања каросерије. Величина W_{ref} служи за утврђивање амплитуда неравнина пута. Уколико важи претпоставка да је максимална висина неравнина 7 cm, усваја се да је $W_{\text{ref}} = 0.07$.

Магнитуда и учестаност силе која се контролише су ограничене величином W_{act} :

$$W_{\text{act}} = (100/13) * \text{tf}([1 \ 50], [1 \ 500]).$$

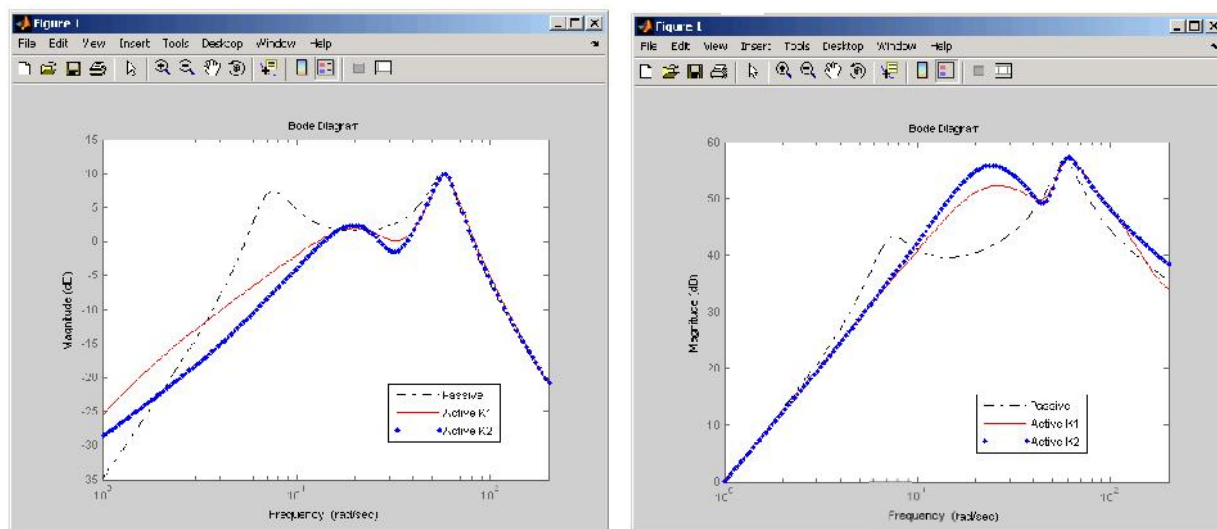
Вредности преносних функција се могу представити у линеарној или логаритамској или двострукој логаритамској размери, али је често присутно и представљање логаритмованих вредности преносне функције двострукој логаритамској размери. Овакав дијаграм се назива Бод-дијаграм. Овај принцип има чисто практичну употребу због тога што се врши анализа понашања осцилаторног система у великом дијапазону побудних фреквенција.

- Код првог дизајна управљачког модула H_∞ улога функција W_{z1} и $W_{z1} - W_{z3}$ је постизање и одржавање малих ходава CEO при одређеним учестаностима осцилација које потичу од тла. Код овог управљачког модула приоритет је комфор путника. Величина $W_{z1} - W_{z3}$ није укључена у проблематику којом се бави овај контролни систем. На слици испод је приказан Бод дијаграм на коме се уочава зависност амплитуда од учестаности, односно уочавају се различитости ове зависности код пасивних и активних система ослањања.



Слика 5.5. : Бодје дијаграм управљачког модула H_{∞} - дизајн 1

- Код другог дизајна управљачког модула H_{∞} моделира се контролни модул код кога је циљ да се вредност преносних функција вертикалног хода СЕО буде мала. На дијаграмима 5.5. и 5.6. приказана је зависност амплитуда одзива од учестаности за пасивни СЕО и активне (први и други дизајн H_{∞}).



Слика 5.6. : Бодје дијаграм управљачког модула H_{∞} - дизајн 2

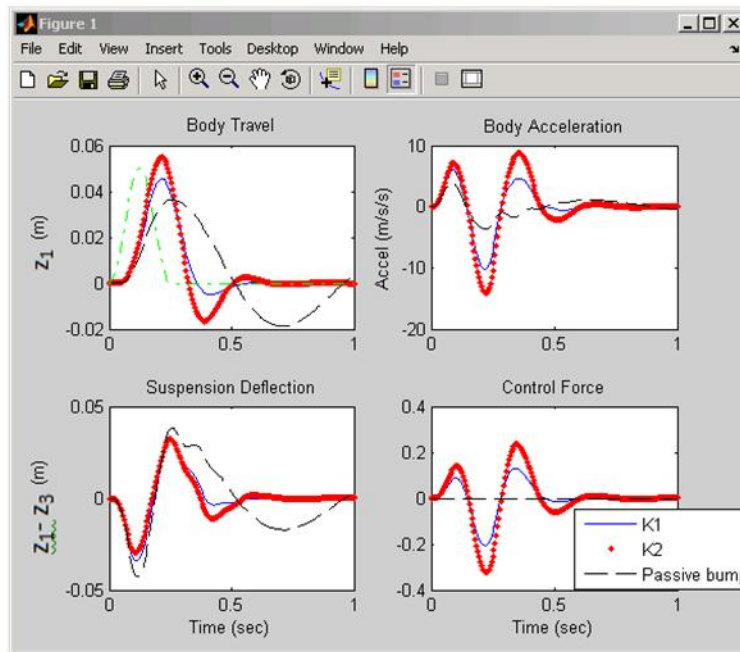
Испрекидане и пуне линије на дијаграму представљају фреквентне одзиве који произилазе из различитих услова вожње и различитих вредности преносних функција.

Све досадашње анализе су вршене у фреквентном домену. Временски зависне, односно анализе перформанси у временском домену се односе пре свега на појаве које се односе на успех активног СЕО у возилу и његов утицај на друге системе у возилу. На дијаграмима који следе су приказани резултати добијени коришћењем H_{∞} контролера. Испрекидане и

пуне линије одговарају пасивном систему. Сви одзиви зависе од услова пута, зависност $r(t)$:

$$r(t) = \alpha(1 - \cos 8\pi t), 0 \leq t \leq 0.25 \text{ sec}$$

где $\alpha=0.025$ одговара неравнини пута од 5 cm. Ако се посматра одзив убрзања дизајна 1 неранина од 5 cm уочава се да је веома добар; међутим ход CEO је већи него код дизајна 2. Ово се догађа због тога што ход сео није игнорисан у овом дизајну. Одзив хода CEO дизајна 2 за неравнину од 5 cm је добар; међутим одзив убрзања је много лошији него код дизајна 1 (слика 5.7.). Још једном, та појава се јавља због чињенице да је померање надградње возила и убрзање нису игнорисани код дизајна 2 [13].



Слика 5.7. : Зависности вертикалног хода надградње возила, убрзања и реактивних сила у временском домену

5.1.2. Контролни (управљачки) модул преко μ -синтезе

Контролни H_∞ системи који су описани не укључују управљање динамиком хидрауличних актуатора. У овом делу, укључује се динамички модел хидрауличког актуатора првог реда као и верификациони модел за утврђивање разлика између модела актуатора и реалне динамике актуатора.

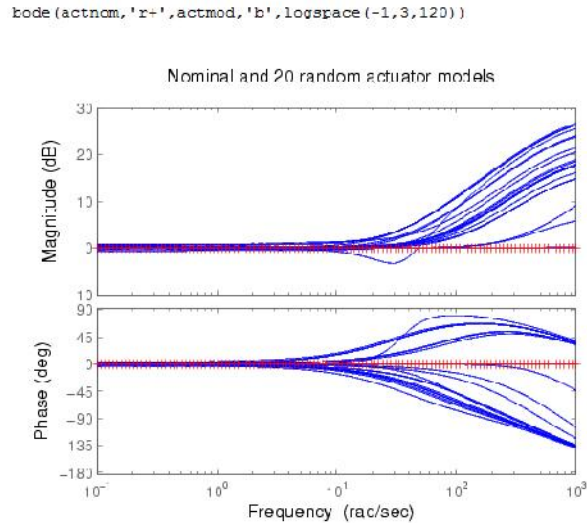
Номинални модел хидрауличког актуатора је:

$$actnom = \frac{1}{\frac{1}{60}s + 1}$$

$$actnom = tf(1, [1/60 \ 1]);$$

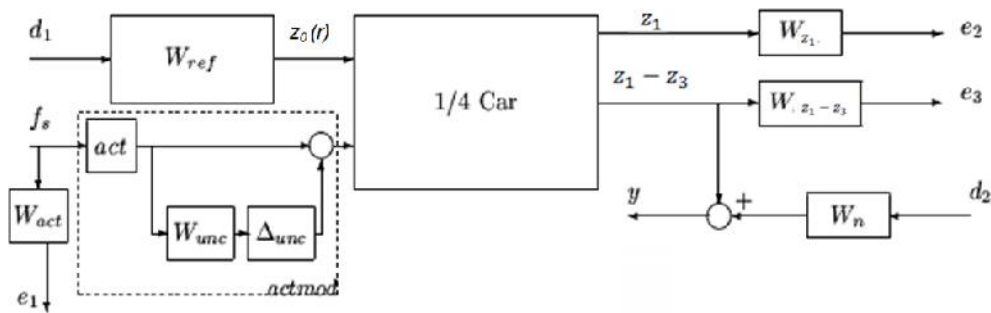
Модел актуатора је по природи непоуздан. Грешка модела актуатора се може описати као скуп тежинских (*weighting*) функција. При ниским учестаностима, испод 4 rad/s, може варирати до 10% од своје номиналне вредности. Око 4 rad/s проценат варирања почиње да се увећава и достиже 400% при учестаности приближно 800 rad/s. Верификација модела је приказана кроз величину W_{unc} која одговара промени фреквенције непоузданости модела.

Модел актуатора *actmod* је непоуздани систем базиран на математичким моделима реалних актуатора. Дијаграм дат на слици 5.8. приказује номинални модел актуатора, *actnom*, означен знаком „+“, и 20 различитих модела актуатора описаних преко *actmod*-а.



Слика 5.8. : Бод дијаграм управљачког модула преко μ -синтезе

Модел непоузданости, односно верификациони модел актуатора *actmod* представља модел хидрауличног актуатора који се користи за контролу/управљање. Унапређен блок дијаграм унутрашњих веза у контролном модулу је дат на слици 5.9.

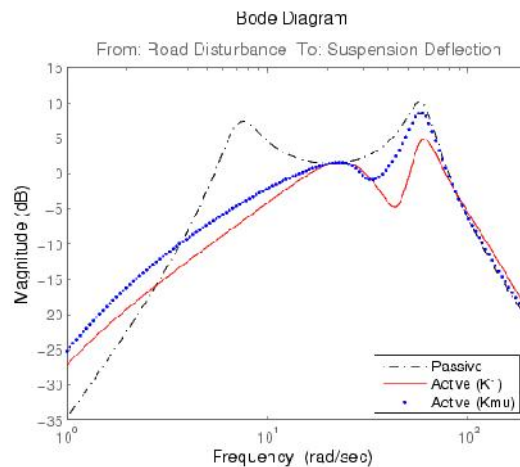


Слика 5.9. : Блок дијаграм управљачког модула преко μ -синтезе која је имплементирана у систем активног еластичног ослањања возила

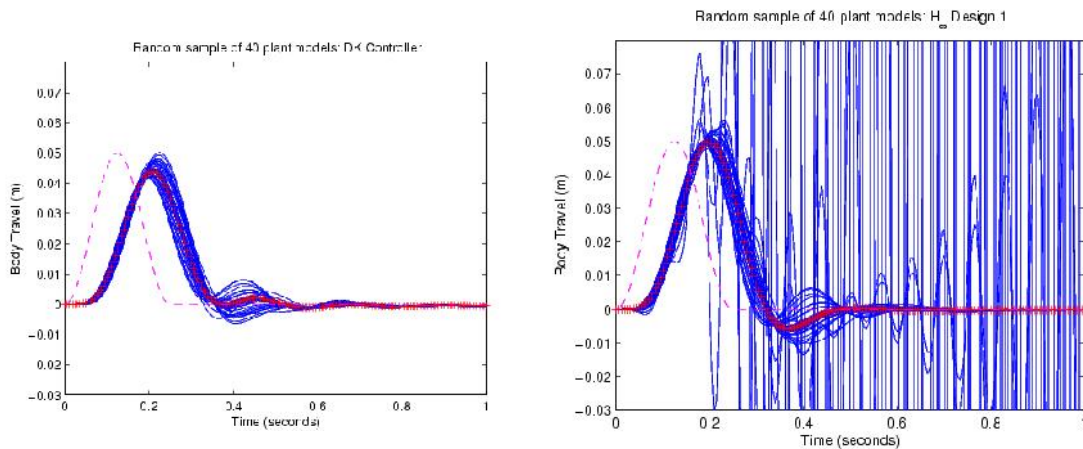
Циљ је направити контролер, односно управљачки модул за остваривање комфора путника, као и код првог H_∞ управљачког модула, стога је вертикално померање

надградње возила ограничено са W_{z1} . Код μ -методе постоји један улаз у контролер, сила на хидрауличном актуатору, и један мерни сигнал, а то је убрзање надградње возила.

Перформансе μ -контролера се могу анализирати конструисањем затворене контролне петље (*CLdkunc*) која функционише по принципу повратне спреге. На Боду (енгл. *Bode*) дијаграмима приказаним на сликама 5.9 и 5.10. су приказани одзиви пасивног и активног система номиналног хидрауличног актуатора са Н дизајном 1 и μ -синтезе контролера. Запажа се да μ -контролер боље ублажава вибрације на рачун смањених перформанси при учестаностима нижим од 3 rad/s [13, 6].



Слика 5.9. : Упоредни Боду дојаграм одзива различитих типова CEO

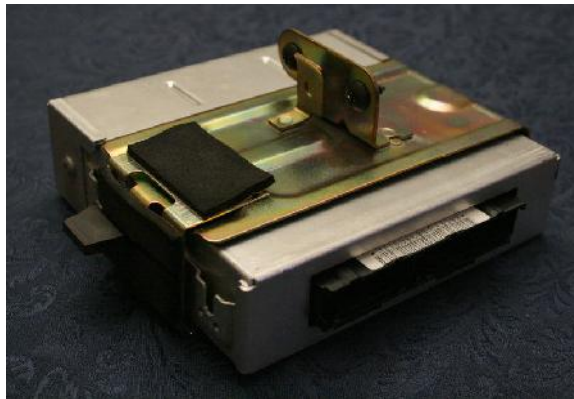


Слика 5.10. : Одзиви пасивних и активних CEO [13]

6. Структура и карактеристике елемената система електронског управљања

6.1. Електронска управљачка јединица (ЕУЈ)

У електронским системима аутомобила појам електронска управљачка јединица (енгл. *Electronic Control Unit* – ECU) означава сваки уграђени компјутерски систем који управља једним или више система или подсистема на возилу. Реалан изглед једне електронске управљачке јединице је дат на слици 6.1.



Слика 6.1. : Изглед ЕУЈ произвођача GeoStorm [14]

ЕУЈ се састоји од 8-битног микропроцесора, RAM (енгл. *random access memory*) меморије, ROM (енгл. *read only memory*) и интерфејса за улаз/излаз. На основу информација које добија преко улазних давача – сензора, ЕУЈ одређује оптимална подешавања излазних елемената – актуатора.

Неке од врста ЕУЈ су:

- модул за управљање радом мотора (енгл. *Engine Control Module* - ECM),
- модул за управљање погонском групом (енгл. *Powertrain Control Module* - PCM),
- модул за управљање трансмисијом (енгл. *Transmission Control Module* - TCM),
- модул за управљање кочним системом (енгл. *Brake Control Module* - BCM или EBCM),
- централни контролни модул (енгл. *Central Control Module* - CCM),
- централни временско-зависни модул (енгл. *Central Timing Module* - CTM),
- модул за управљање ситемом ослањања (енгл. *Suspension Control Module* - SCM),
- управљачка јединица или управљачки модул.

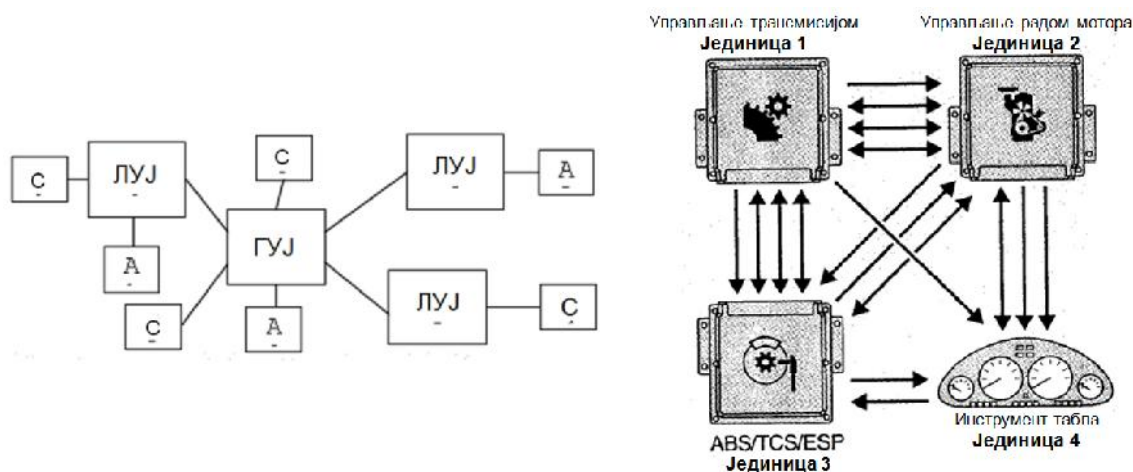
Заједно, ови управљачки модули сачињавају компјутер аутомобила (технички, то није један, већ више компјутера). Нека савремена возила имају до 80 управљачких јединица. Софтвери ових ЕУЈ-а су све комплекснији и напреднији [19, 20].

Конвенционалан начин преноса и размене података од тачке до тачке, помоћу индивидуалних линија одавно је достигао своје практичне лимите. Комплексност жичне инсталације на возилима и величине утичница и конектора су већ сада веома тешки за руковање. Ограничен број пинова у конекторима такође је успорио рад на развоју електронских управљачких јединица. Треба напоменути и то да је на возилу средње величине, укупна дужина каблова већа од 1 km, има око 300 конектора и кућишта са укупним бројем од око 2000 пинова. Дакле, једино решење је примена мрежних система за пренос података и управљање.

Широки спектар примене електронских комуникационих система и система управљања у отвореној и затвореној повратној спрези, за различите функције на возилу, учинио је да је од суштинског значаја мрежно повезивање појединачних електронских управљачких јединица.

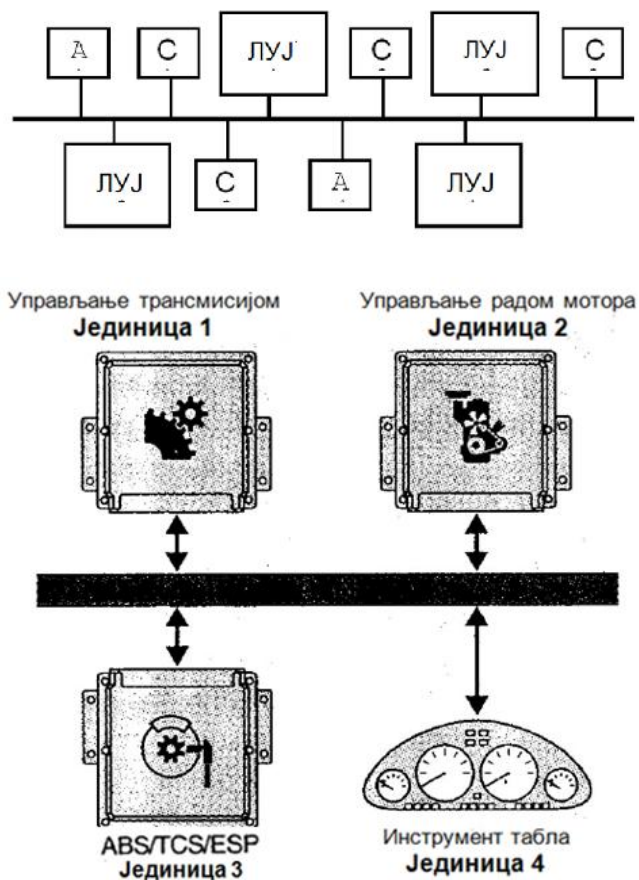
Класични систем преноса података и управљања функцијама возила има звездасту структуру, приказану на слици 6.2, у којој постоји једна главна (мастер) управљачка јединица (ГУЈ), као и више локалних управљачких јединица (ЛУЈ), сензора (С), и актуатора (А), које су са ГУЈ повезане преко локалне серијске или паралелне везе. Обрада сигнала сензора и команде актуаторима могу бити реализоване у главној микропроцесорској управљачкој јединици или у одговарајућем локалном управљачком систему.

Звездаста конфигурација управљачког система захтева да главни управљачки систем има микропроцесор велике брзине како би обрадио све информације које се у њега сливају. Жичана инсталација за повезивање сензора и актуатора са управљачким јединицама је веома сложена, велике дужине, што отежава интеракцију између различитих система, а истовремено цео систем је подложен сметњама.



Слика 6.2. : Звездаста структура система управљања [15]

Бољи квалитет управљања возилом постиже се применом мреже, обично двожишне, на коју су прикључене све управљачке јединице система на возилу, интелигентни сензори и интелигентни актуатори, и код које се комуникација одвија серијски. Шематски приказ једне такве мреже дат је на слици 6.3. У њој не мора да постоји главна управљачка јединица.



Слика 6.3. : Мрежна структура система управљања [15]

Возило обично има више мрежа које имају различите хардверске и софтверске реализације, односно функционишу примењујући различите протоколе.

Према начину на који се појављују информације на мрежи протоколи се могу поделити на протоколе управљане догађајем (CAN протокол – енгл. *Controler Area Network*) и временски управљане протоколе (ТТР протокол – енгл. *Time Trigered Protocol*).

Електронска регулација CEO, односно регулација степена пригушења амортизера (актуатора) се врши на основу информација добијених из CAN протокола.

Протоколи управљани догађајем раде на принципу да се информација из неког чвора у мрежи генерише када дође до промене информације коју шаље тај чвор. У једном тренутку

само један чвор у мрежи емитује поруку коју примају сви чворови у мрежи па и онај који је емитује. Ако се информација не мења чвор је не шаље па самим тим и не оптерећује мрежу.

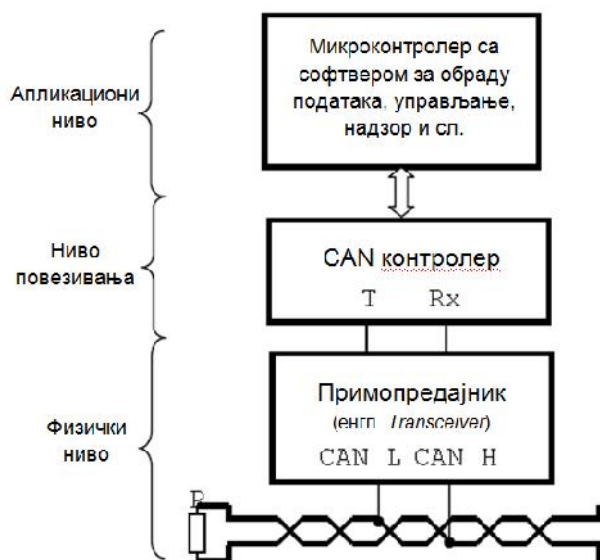
Сви чворови у мрежи имају одговарајући приоритет и при истовременом слању поруке из два чвора одбацује се порука нижег приоритета. Овакав тип протокола обично се имплементира помоћу серијске мреже.

Протоколи управљани догађајем су CAN (*Controler Area Network*), LIN (*Local Interconnection Network*), *Buterflight*, и други.

Повезивање управљачких јединица, интелигентних сензора и интелигентних актуатора, који чине чворове мреже, на електрични вод, захтева да те јединице имају структуру која је приказана на слици 6.4, у складу са унапред познатим моделом повезивања.

Мрежа заснована на CAN протоколу има следеће особине:

- свака порука које се шаље помоћу мреже има одговарајући приоритет,
- за поруке нижег приоритета гарантује се слање после одређеног времена чекања,
- мрежа мора да има флексибилност при додавању нових чворова у мрежу,
- временски синхронизован пријем и предају свих чворова у мрежи,
- променљив формат података који се шаљу мрежом,
- више главних (мастер) чворова у мрежи,
- детекција грешака и њихова сигнализација,
- аутоматско понављање неисправних порука чим је мрежа слободна,
- раздвајање привремених од трајних грешака у чворовима и аутономно искључивање неисправних чворова.



Слика 6.4. : Структура чвора мреже на возилу

Апликациони ниво је специфичан за сваки чвор мреже. Ако је чвор мреже „интелигентни“ сензор онда се у њему врши обрада сигнала одговарајућег давача ради довођења у жељени облик (линеаризација, појачавање), самопровера исправности, самокалибрација и припрема података за слање мрежом.

У апликационом нивоу „интелигентног“ актуатора обрађује се командни сигнал добијен преко мреже и на основу њега генерише одговарајућа акција актуатора. Ту се врши и самопровера исправности актуатора и самоподешавање.

Управљачке јединице у мрежи у апликационом нивоу врше обраду података добијених преко мреже, као и података добијених од сензора који су локално везани за ту управљачку јединицу и генерише податке неопходне за управљање локалним или „интелигентним“ актуаторима.

Проблем код протокола управљаног догађајем је што оптерећење мреже није константно тако да се може десити да поруке чворова нижег приоритета буду потискиване толико дуго да постану неактуелне [10, 15].

6.2. Давачи у систему – конструкција и начин функционисања

Улазни орган или члан у мерним системима и у системима аутоматског управљања је мерни елемент или уређај који даје информације о квалитативним и квантитативним карактеристикама мерене величине, односно посматраног објекта, стања или процеса. Тај први, полазни члан мерног ланца назива се мерни давач. Његов задатак је да прима информацију од посматраног објекта, стања или процеса у облику мерене физичке величине и да је у складу са одређеним природним или физичким законом претвори у информацију исте те или неке друге физичке величине, у мерни или управљачки (обично електрични, пнеуматски или хидраулични) сигнал погодан за пренос и даљу обраду. На слици 6.5. је приказана мрежа и врсте сензора који чине део система за адаптивно, односно прилагодљиво ослањање, тј. пригушење.



Слика 6.5. : Компјутерски контролисан променљиви степен пригушења – улази и излази

- **Контрола пливања (лебдења) и галопирања**

Електронска контрола код које су независно контролисани предњи и задњи точкови, како би константно постизали оптималну силу пригушења као одговор на избочине и улегнућа на путу.

- **Контрола сензорског праћења брзине возила (сензор брзине возила)**

Контрола у циљу осигурања стабилности при вишим брзинама повећањем минимума пригушне силе са повећањем брзине возила, а самим тим одржавање перформанси и комфора возила на оптималном нивоу.

- **Контрола (против) „зарањања“ чеоног дела возила**

Контрола осигурава и ограничава стабилност зарањања чеоног дела возила, која се дешава када се нагло кочи.

- **Контрола ударних оптерећења (осетљивост на ударе)**

Контрола осигурава комфор вожње отежавањем пораста пригушне силе на равном путу.

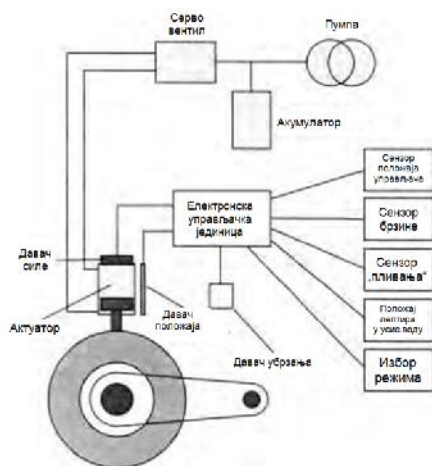
- **Контрола против превртања**

Контрола у циљу осигурања стабилности вожње ограничавањем кретања возила када је волан окренут.

- **Контрола (против) спуштања нивоа каросерије**

Контрола одржавања одређене висине клиренса возила, односно осигуравање стабилности вожње ограничавањем спуштања нивоа возила које се јавља приликом убрзавања када се повећава пригушна сила [16, 18].

Дакле, како би се најбоље искористиле предности активног система еластичног ослањања, неопходно је да електронска управљачка јединица (ECU) поседује одређене информације о возилу. Ове информације се добијају од бројних сензора које се налазе у различитим деловима возила, слика 6.6. Неки од сензора (давача) који се користе за обезбеђивање информација су наведени у вом поглављу.



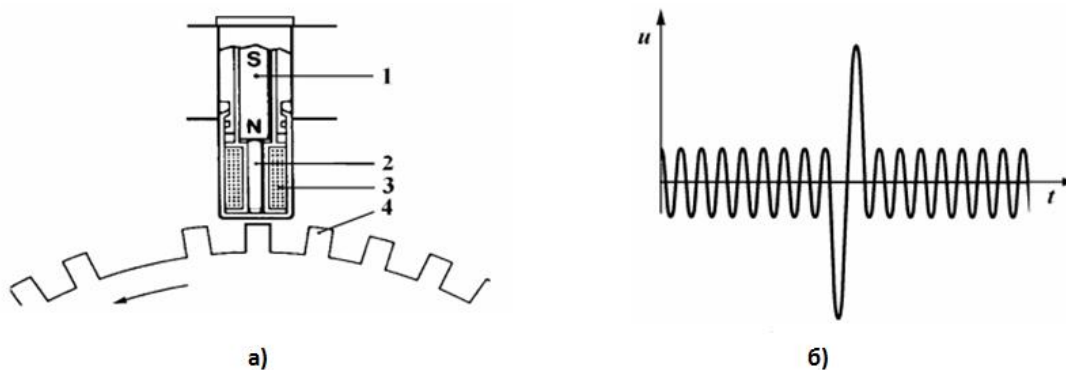
Слика 6.6. : Сензори који шаљу информације у електронску управљачку јединицу активног и генерални изглед активног CEO [5]

6.2.1. Брзина возила

Сврха сензора брзине (енгл. *Vehicle Speed Sensor - VSS*) је једноставна, а брзина возила се добија од стандардног сензора за мерење брзине. Као сензор брзине може да се користи већ постојећи сензор који се користи у другим системима на возилу и најчешће је електромагнетског типа. Са овог сензора се шаље информација ка електронској управљачкој јединици о тренутној брзини кретања аутомобила. Сензор се може налазити на мењачу или на точку. Овај сензор се у неким аутомобилима користи за ограничавање максималне брзине, а такође и за побољшање економичности и возних катактеристика. На слици је приказан сензор брзине аутомобила [13].

Важност давача положаја и угаоне брзине је од велика. Треба истаћи да је угаони положај коленастог вратила једна од најбитнијих информација за управљање функцијама мотора СУС, кочењем и трансмисијом. Поред информације о спољној мртвој тачки радних цилиндара, која је од есенцијалног значаја за одређивање момената убризгавања горива и паљења гориве смеше, овај давач даје информацију и информацију о тренутној угаоној брзини коленастог вратила. Давачима угаоне брзине се одређује и брзина возила, односно угаона брзина сваког точка понаособ.

Један од давача који се могу искористити за одређивање брзине возила јесте индукциони давач. Функционисање оваквог давача, приказаног у склопу са назубљеним точком коленастог вратила (КВ) на слици 6.7. под а), заснива се на принципу електромагнетне индукције. Елементи приказаног склопа су: 1 – стални магнет, 2 – наставка магнета (наставка пола од кога потиче), 3 – намотај давача и позиција 4 – назубљени точак. На истој слици под б) је приказан изглед индукованог сигнала.



Слика 6.7. : Индукциони давач угаоне брзине и репера у склопу са назубљеним точком КВ:

а) структура давача, б) индуковани сигнал

Промена магнетног флукса, ϕ , који обухвата намотај, производи електромоторну силу:

$$e = - \frac{d\phi}{dt}.$$

Из последње чињенице се закључује да се говори о мерним давачима генераторског типа.

Брзина релативног кретања намотаја и магнета може бити линеарна или угаона.

Код угаоног кретања индукована електромотора сила је:

$$e = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d\phi}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = -\frac{d\phi}{d\varphi} \cdot \omega.$$

Вредност генерисаног напона на тај начин зависи од угаоне брзине КВ због чега је функционисање овог давача критично у области малих угаоних брзина КВ (малог броја обртаја мотора), посебно приликом вучења мотора у екстремно хладним условима. Осим тога, у статичким условима овај давач не даје сигнал на свом излазу.

Ова врста давача се користи у варијантама:

- као посебни давачи за угаону брзину и положај спољне мртве тачке (СМТ),
- као један давач за угаону брзину и СМТ.

Дијагностика давача се врши провером исправности намотаја мерењем отпорности намотаја. Изглед напона на давачу се контролише помоћу осцилоскопа и битно зависи од облика зуба на назубљеном точку [5].

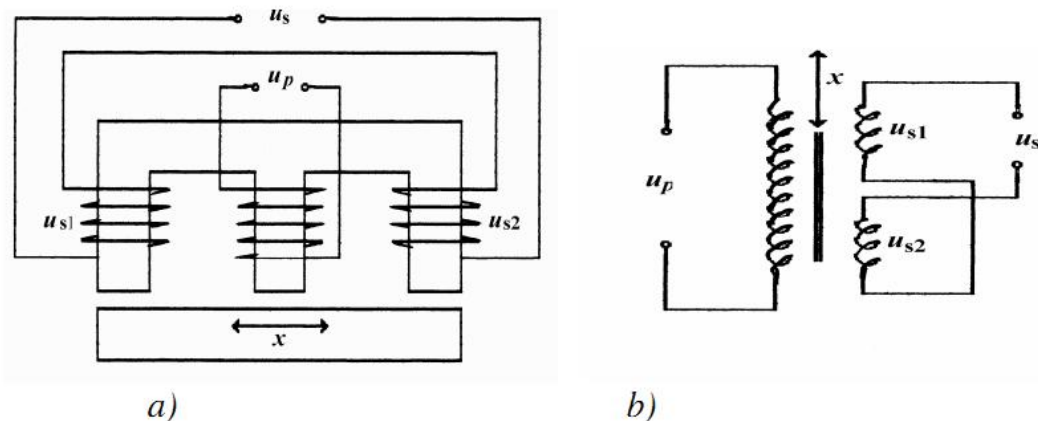


Слика 6.8. : Реалан изглед сензора брзине аутомобила

6.2.2. Померање и вертикално убрзање

Овај сензор може имати више облика, тј. може бити једноставан као променљиви отпорник или прецизнији и осетљивији линеарни сензор као што је диференцијални трансформаторски давач (енгл. *Linear Variable Differential Transformer* - LVDT).

Диференцијални трансформаторски давач се састоји од примарног и два једнака, симетрично постављена секундарна намотаја. Намотаји су везани серијски и мотани су у супротним смеровима, на начин који је илустровано и шематски приказано на слици 6.9.



Слика 6.9. : Диференцијални трансформаторски давач: а) приказ деловања, б) шематски приказ

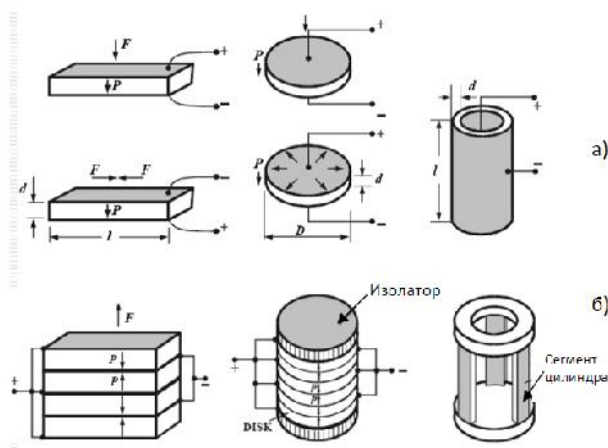
Резултујући напон у секундарном навоју је:

$$u_s = u_{s1} - u_{s2}$$

Диференцијални трансформаторски давачи су посебно погодни за мерење малих механичких помераја, односно за индиректно мерење многих других величина. Врло често су давачи овог типа саставни део других давача [18].

Акцелерометар, односно давач убрзања је пример пиезоелектричног сензора. Код пиезоелектричних сензора долази до стварања мале количине наелектрисања када се примењује механичко напрезање на кристал. Пиезоелектрични сензори се деле на:

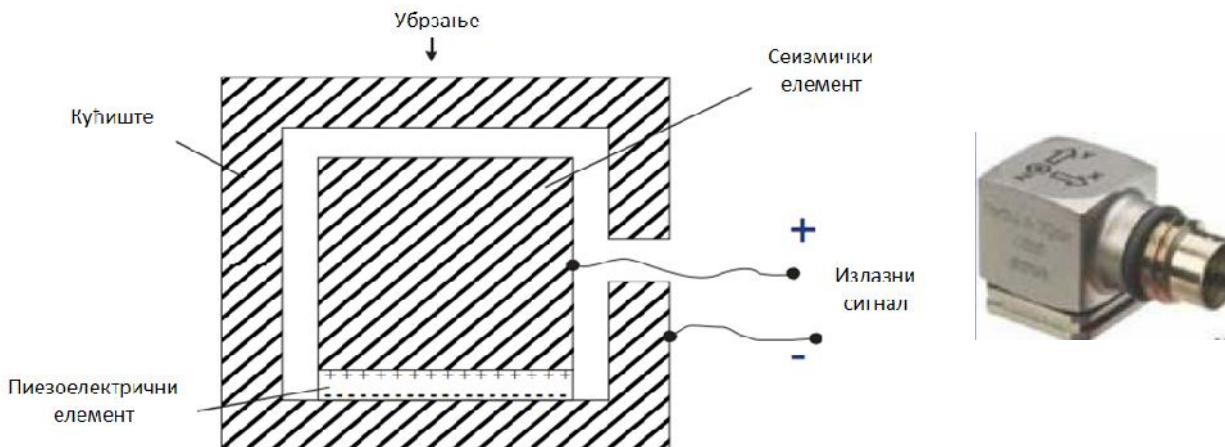
- а) просте и
- б) сложене.



Слика 6.10. : Прости и сложени пиезоелектрични сензори

Акцелерометар је тип сензора којим се мери убрзање, односно вибрације. Један од најчешћих облика је управо споменути пиезо акцелерометар код којег се користи деловање покретне осцилирајуће масе на пиезоелектрични сензор силе, која у зависности од нивоа

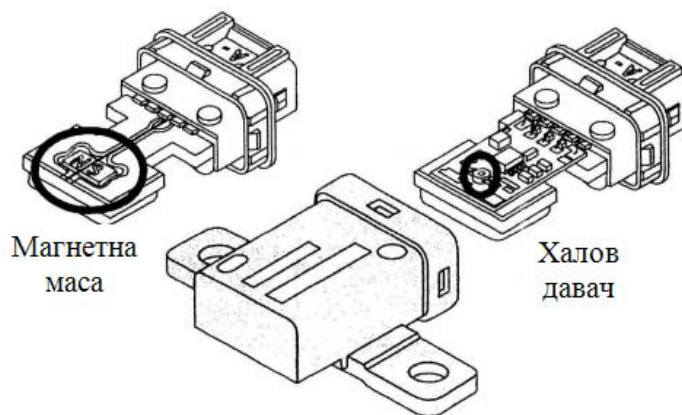
вибрација даје одређени ниво електричног излазног сигнала. На слици 6.11. је дат шематски приказ оваквог сензора, као иреалан изглед једног таквог сензора [18].



Слика 6.11. : Шематски приказ пиезоелектричног сензора вибрација (убрзања) и реалан пример таквог сензора

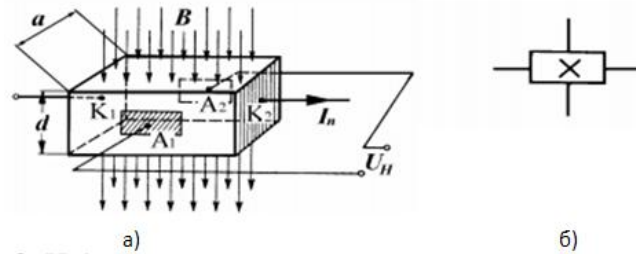
6.2.3. Бочно и подужно убрзање

Убрзање може бити одређено од типа сензора са клатном коришћењем оптерећених мерних елемената који су повезани са неком масом (слика 6.12.), или уређаја који су слични давачу детонација у мотору.



Слика 6.12. : Сензор бочног убрзања [16]

Халов давач (енгл. *Hall generator*) заснован је на Халовом ефекту који се састоји у томе да се приликом скретања електрона у магнетном пољу због присуства Лоренцових сила врши њихово груписање и на тај начин производи разлика потенцијала, односно напон U_H , како је то приказано на слици 6.13, под а). На истој слици, под б), дат је графички симбол овог давача.



Слика 6.13. : Халов давач: а) приказ деловања, б) графички симбол

Сам Халов елемент се састоји од полупроводничке плочице на бази силицијума, индијум арсенида (InAs), индијум антимионида (InSb) или сличних материјала. На плочици се налазе прикључци A_1 и A_2 на којима се генерише напон U_H у магнетном пољу индукције B када кроз плочицу протиче струја I_n преко прикључака K_1 и K_2 . Када се кроз овај генератор пропусти константна струја напајања I_n , а истовремено ортогонално делује магнетно поље индукције B , због скретања електрона долази до неравномерне расподеле носилаца електрицитетa. На тај начин се на A_1 формира негативан, а на A_2 позитиван пол и између напон U_H вредности реда mV.

Основна једначина Халовог ефекта је:

$$U_H = \frac{K_H B I_n \sin \alpha}{d}$$

где је:

K_H - Халова константа (код метала има малу вредност, $K_H \cong 10^{-9} \text{ m}^3/\text{As}$; код полупроводника је већа за око 5 редова величина: код индијум антимионида, $K_H \cong 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{As}$, а код индијум арсенида, $K_H \cong 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{As}$),

B - вектор магнетске индукције,

α - угао између вектора магнетске индукције и вектора густине струје,

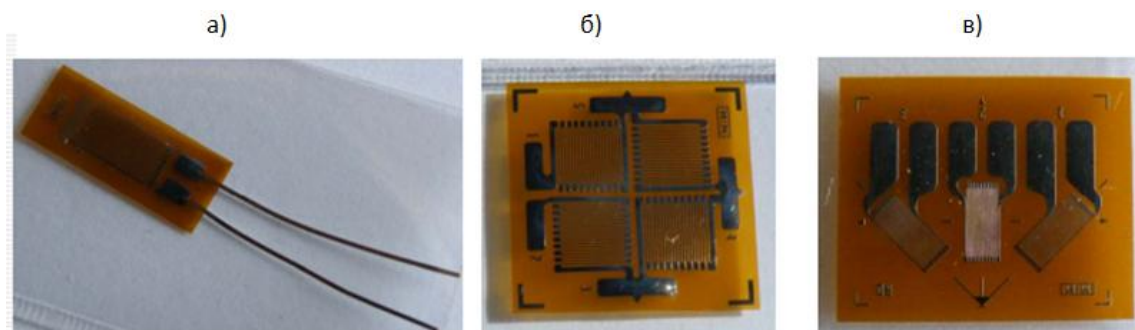
d - дебљина плочице давача [15].

6.2.4. Давач силе

Давач силе се користи за утврђивање да ли стварна сила делује на каросерију, односно сваки од на пригушних елемената. Пример оваквих давача јесу мерне траке које спадају у отпорничке даваче. Принцип рада отпорничких сензора се заснива на промени електричног отпора у зависности од деловања физичких величина (сила, температура) [15].

Мерна трака представља сензор којим се мере напрезања у материјалу услед промене отпора у влакнима од којих је направљена. Најчешће примењене врсте мерних трака су:

- а) једноосне,
- б) розете, и
- в) под углом.

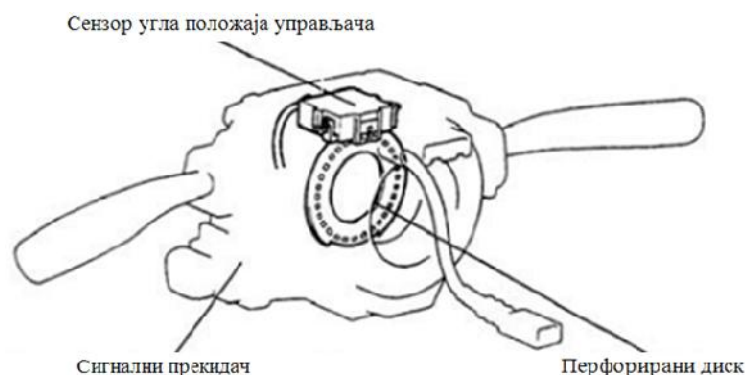


Слика 6.14. : Врсте мерних трака

6.2.5. Положај управљача/управљачких точкова

Као и сам положај управљача, и померање управљача се може добити од ротационог сензора. Овај уређај најчешће има светлосни сноп и детекторског је типа. Уколико степен померања управљача, односно управљачких точкова, превазилази предвиђени опсег померања, систем ће прећи на ослањање веће крутости.

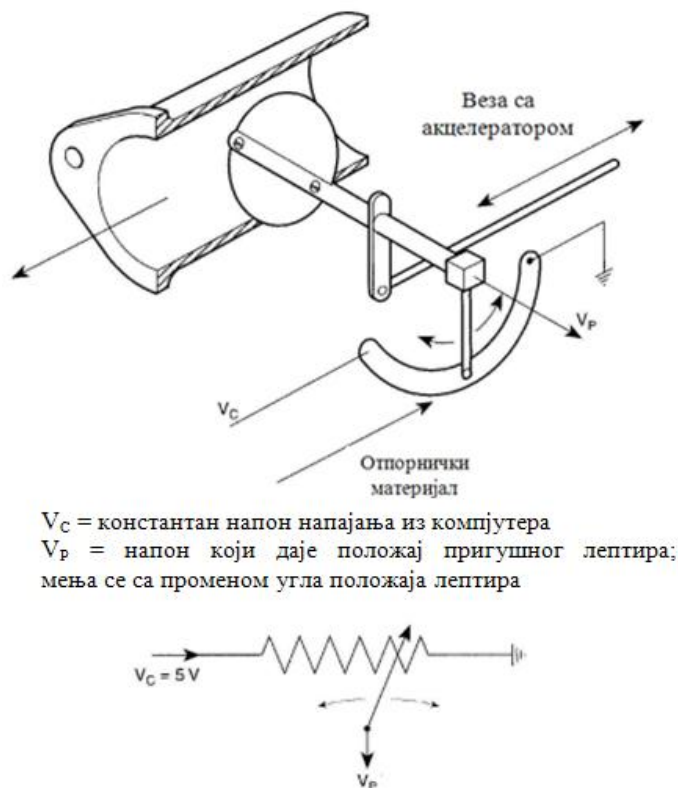
Сензор положаја управљача је најчешће опто-електронског типа. Примењен је инфрацрвени сноп који је прекинут помоћу перфорираног диска који је приказан на слици 6.15. Сигнал сензора брзине точка се може добити из компјутерске јединице ABS система, а светлосни сигнал се добија од прекидача за стоп светло.



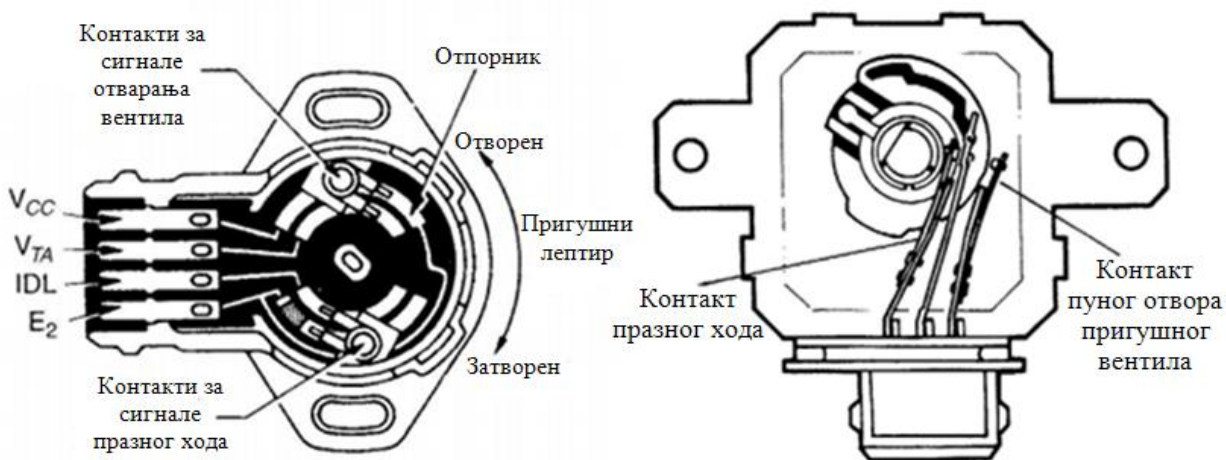
Слика 6.15. : Сензор положаја управљача

6.2.6. Положај пригушног лептира усисног вентила

Овај давач је сличан постојећим потенциометарским давачима отварања усисног вентила. Овај давач даје податке о намери возача да повећа или смањи брзину кретања, што директно утиче на степен чврстоће еластичног ослањања које ће се применити. најчешће коришћени давачи на бази потенциометра су отпорнички давачи положаја који непосредно претварају угаони или транслаторни померај у напон. Најкарактеристичнија примена ових давача је управо при одређивању положаја пригушног лептира при усававању ваздуха код бензинских мотора. Шема принципа рада овог давача је дата на слици 6.16.

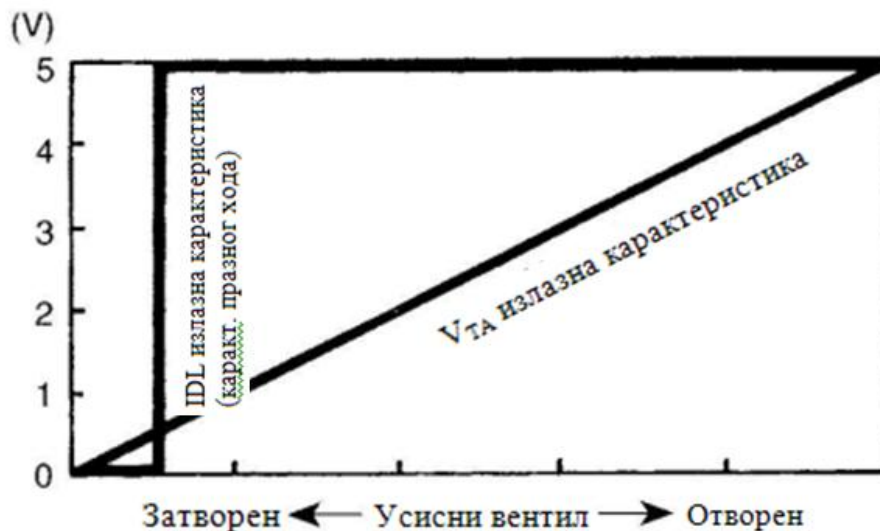


Слика 6.16. : Принципска шема давача положаја лептира са потенциометарским отпорничким давачем



Слика 6.17. : Карактеристичне реализације потенциометарских давача са контактом пуног отвора лептира

У склопу давача положаја пригушног лептира врло често је интегрисан контакт пуног отвора пригушног лептира или контакт празног хода (IDL) који се користи за промену режима рада мотора (пуно оптерећење или празан ход) или у системима аутоматске трансмисије (енгл. *kick down*).



Слика 6.18. : Карактеристика потенциометарског давача са контактом празног хода

Провера исправности ових давача своди се на мерење отпорности или напона на клизачу. Промена при мерењу мора да буде континуална, тј. свака скоковита промена напона указује на неисправност давача [15,18].

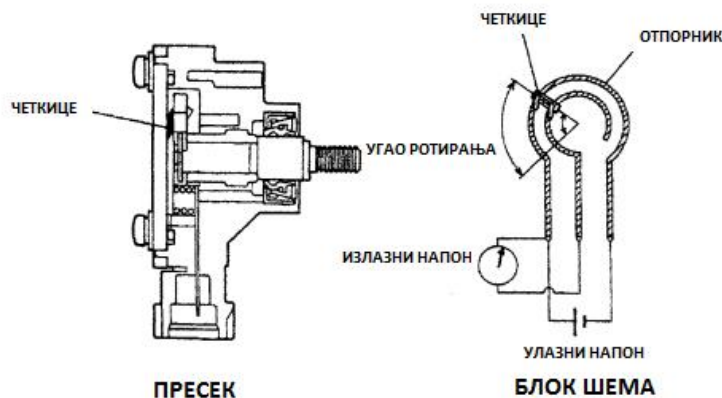
6.2.7. Давач пливања возила

Праћење „држања“ жељеног правца возила, односно праћење појаве пливања возила се може одредити преко бочног убрзања ако је сензор постављен на чеоном или задњем делу возила.

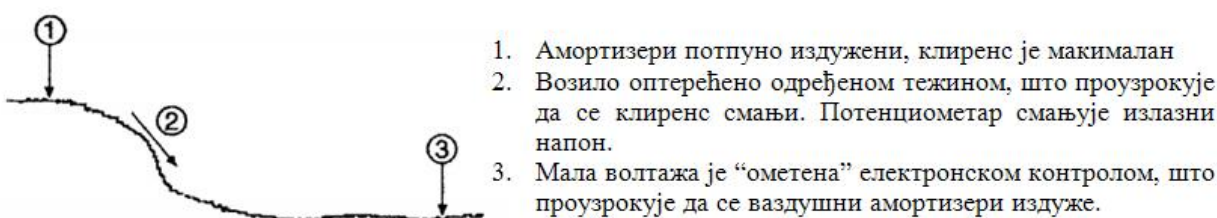
6.2.8. Сензор контроле клиренса у току вожње

Сензор клиренса или сензор висине возила је врста сензора која се користи у Тојотиним возилима. Слика 6.19. показује детаље сензора, и може се видети да користи принципе разделника напона, који се користи у многим другим системима на возилу.

Вертикално кретање возила се претвара у ротационо кретање четкица сензора помоћу покретне полуге сензора. Напонски сигнал на сензору зависи од позиције четкице у односу на два краја отпорне траке. Слика 6.20. показује сигнал на осцилоскопу коју сензор шаље контролном рачунару. У тачки (1) амортизери су потпуно издужени. Како се оптерећење (терет) возила повећава, висина се смањује што проузрокује да напон сензора опада, тачка (2). Када је амортизер компресован на своју најмању дужину, напон у тачки (3), ово проузрокује да рачунар шаље сигнал актуатору који враћа висину возила на потребан ниво.



Слика 6.19. : Сензор висине возила [16]



Слика 6.20. : Типични напони сензора [16]

6.3. Актуатори у систему – конструкција и начин функционисања

У електронским системима мерења и управљања на моторним возилима као излазни органи се користе различите врсте електроventила, сервомотори, корачни мотори, индукциони калемаи, релеји, светлосни и звучни сигнални уређаји и слично.

Излазни члан система управљања чији је задатак да непосредно утиче на објекат или процес управљања назива се извршни орган или актуатор.

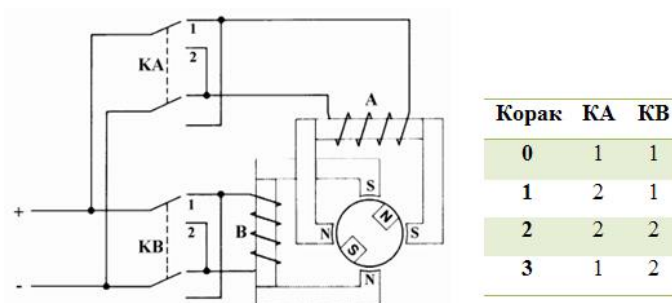
У овом поглављу су описани неки од најзначајнијих актуатора у моторном возилу, са посебним освртом на оне који чине део активног СЕО.

6.3.1. Корачни мотор

По својој конструкцији и функцији корачни (енгл. *stepper*) мотор је електромеханички претварач - извршни орган који бинарно кодирани напонски сигнал на свом улазу претвара у одговарајући дискретизовани/инкрементални угаони померај изражен у угловним инкрементима. Вредност угловних инкремената је $\Delta\alpha = 360/Z$, при чему број корака Z , зависно од конструкције мотора, може бити у опсегу од 3 до 200. У пракси се користе два основна типа корачних мотора:

- корачни мотори са магнетским диском и
- корачни мотор са променљивом релуктансом.

Шематски приказ двофазног корачног мотора са двополним ротором (магнетским диском) дат је на слици 6.21. На истој слици приказане су и секвенце побуђивања за обртање у једном смеру.



Слика 6.21. : Двофазни корачни мотор с двополним ротором

Обртни момент код овог мотора се остварује електромагнетном силом између магнетног флукса ротора и магнетног поља статорских полова који се побуђују посредством контаката *КА* и *КВ* у одговарајућем редоследу, како је илустровано на претходној слици.

Број корака по једном обртају мотора дат је изразом:

$$Z = 2 \cdot p \cdot m$$

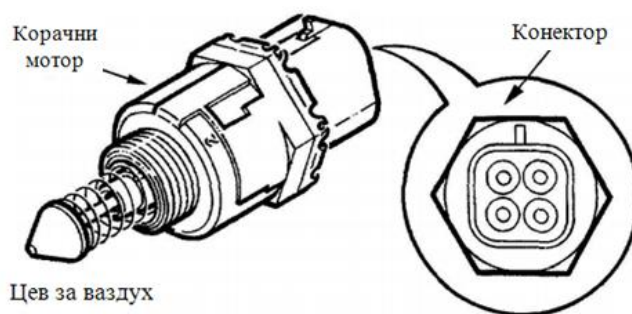
где су:

p - број пари полова ротора,

m - број фаза у статору.

Контакти *КА* и *КВ*, који су поједностављено приказани на слици 6.21, су полупроводничког типа, управљани помоћу сигнала генерисаних у дигиталним колима. Код корачних мотора променљиве релуктансе (са канџастим половима) обртни момент остварује електромагнетна сила између побудних намотаја статора и краткоспојног ротора. Број полова ротора је мањи од броја полова на статору због чега полови сви ротора не могу истовремено да буду наспрам полова статора. Од редоследа побуђивања статорских намотаја зависи смер, а од учестаности побуђивања зависи брзина обртања ротора мотора.

Корачни мотори су у мерним системима нашли примену као показивачи, на пример, као одометар на инструмент табли моторног возила, а један овакав мотор је дат на слици 6.22.



Слика 6.22. : *Корачни мотор у систему празног хода [15]***6.3.2. Соленоиди**

О соленидима је већ било речи када се говорило о полуактивном СЕО са регулационим вентилима.

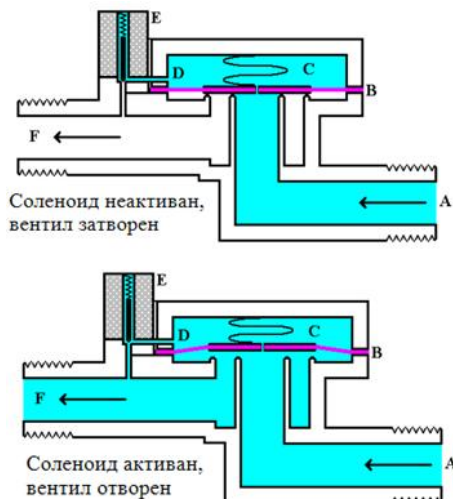
Електромагнетни актуатори претварају енергију електромагнетног поља у механичку енергију која изазива кретање. Погодни су за „средње“ величине погонских момената и сила, као и за помаке у „средњем“ домену.

Као корачни мотори, солениди су дигитални актуатори, односно, другим речима, имају само два стања „укључено“ и „искључено“. Један прикључак је повезан са батеријом, а други је повезан са компјутером одакле добија информацију о отварању/затварању основног ел.кола по потреби. Када добије енергију, односно напон, соленид може да издужи (помери) клип или арматуру како би контролисао функције као што су вакуумски проток у системима који имају везе са емисијом или у систему за убризгавање горива. Већина актуатора су солениди.

Солениди су контролисани на два начина: на основу импулса или као делови кружних процеса. Контролисање импулсима се користи када фреквенција рада (укључивања/искључивања) није константна. Пример таквог система је брызгалка која је укључена одређено време и потом се гаси. Контролисање у кружним процесима је примењено када је фреквенција укључивања константна. Пример је соленид који се налази у ABS систему који је предвиђен да буде укључен, односно искључен одређено време – 20 % времена да буде укључен и 80 % да буде искључен.

Солениди су такође котишћени и у систему компјутерски контролисане трансмисије (енгл. *Electronic Control Transmission – ETC*). Промена степена преноса се врши помоћу соленида који отвара или затвара хидраулички отвор, чиме се контролише проток радне течности [17].

Сабијање, односно кретање радног флуида (уља) кроз отворе је најчешће коришћени метод за остваривање пригушења у систему ослањања возила. Вредност примењене силе пригушења, између осталог, зависи од димензија отвора, односно шупљина кроз које се флуид креће под дејством силе која настаје дејством пригушних елементата. Дакле, сила пригушења се може мењати ако се мењају величине шупљина кроз које се креће и/или димензује других делова пригушног елемента. На слици 6.23. је илустрован утицај соленида на стање пригушног вентила, а на слици 6.24. реалан изглед вентила.



Слика 6.23. : Соленоид коришћен као вентил



Слика 6.24. : Вентил са соленоидом – електромагнетни актуатор

6.3.3. Хидраулични актуатори

Хидраулични цилиндри (хидроцилиндри) су запремински хидромотори, код којих се енергија струјања радног флуида претвара у механички рад праволинијским наизменичним кретањем радног органа (клипа или плунжера).

Према конструкцији и принципу дејства у основи се разликују хидроцилиндри *једносмерног* и *двосмерног* дејства. Под дејством силе притиска радне течности, кретање радног органа хидроцилиндра једносмерног дејства врши се само у једном смеру, а повратни ход се врши под дејством спољашње силе (силе опруге, сопствене тежине). Код хидроцилиндара двосмерног дејства, кретање радног органа у оба смера врши се под дејством притиска радне течности.

Зависно од тога да ли се клипњача налази са једне или са обе стране клипа, разликују се *хидроцилиндри са једностраном клипњачом* и *хидроцилиндри са двостраном клипњачом*. Ако је неопходно остварити веће силе на клипњачи уз ограничену величину пречника клипа клипа хидроцилиндра, или у радном ходу треба деловати двема силама различитог интензитета, примењују се *тандем хидроцилиндри*. Када радни процес захтева релативно велики ход, а смештајни простор је ограничен, користе се *телескопски хидроцилиндри* [20].

Хидраулични актуатори трансформишу хидрауличну енергију ускладиштену у резервоару у механичку енергију коришћењем прикладних пумпи. Носилац кретања је радни флуид, најчешће одређена врста уља. Неке од основних предности хидрауличних актуатора су:

- велика брзина одзива (неколико пута мања временска константа),
- велики коефицијент појачања снаге (до 10^3),
- стабилност брзине
- мања запремина.

Највећи недостаци су:

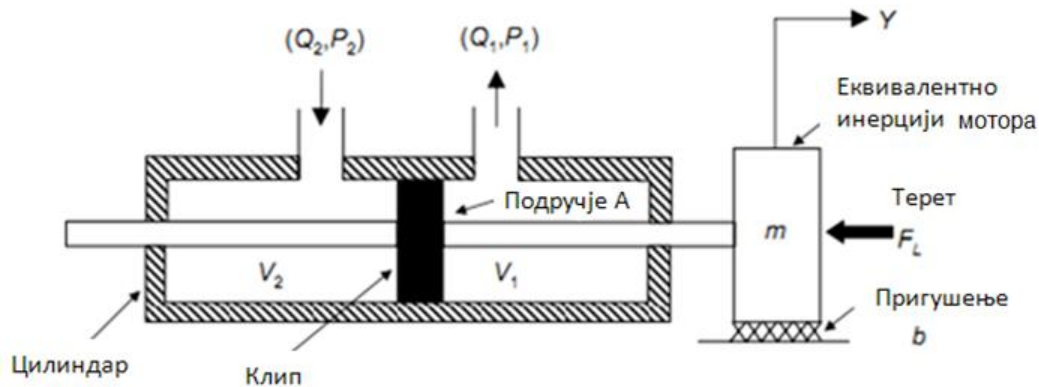
- потребан помоћни извор енергије,
- висок степен појаве шума,
- загађење околине приликом истицања уља.

Хидраулични актуатори се могу поделити на три основне групе:

- извори снаге (пумпе),
- хидраулични вентили, и
- хидраулични мотори.

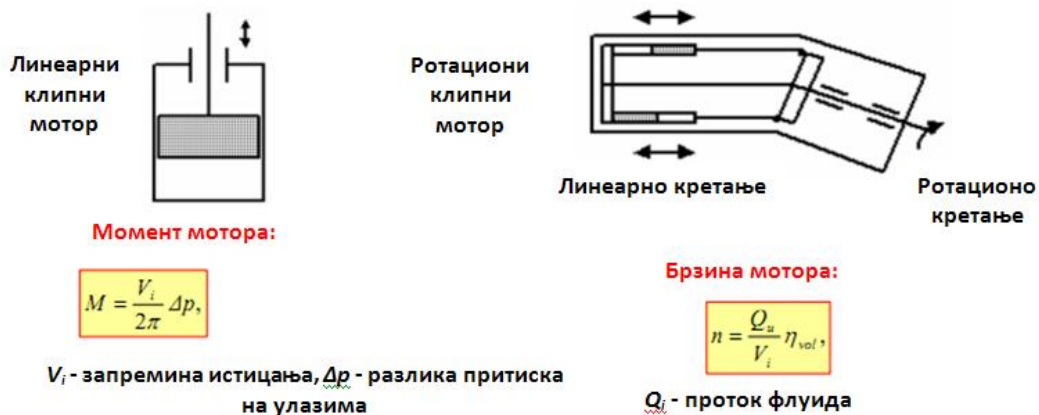
Хидраулични мотор је хидраулични актуатор у систему активног CEO, а састоји се од клипа и цилиндра.

Један такав клип је дат на слици 6.25, где се види да под дејством силе F_L долази до померања клипа мотора, чиме се радни флуид потискује из једног у други део цилиндра. На овај начин се код активног CEO одржава вертикални положај каросерије на одређеном нивоу.



Слика 6.25. : Хидраулични клипни мотор (актуатор)

На слици 6.26. су дате врсте хидрауличних клипних актуатора. То су линеарни и ротациони клипни мотор, а код активних CEO се примењује линеарни.



Слика 6.26. : Врсте хидрауличних клипних мотора

На сликама 6.27. и 6.28. су приказани примери реалних изгледа хидрауличног цилиндра и хидрауличног линеарног мотора [19].



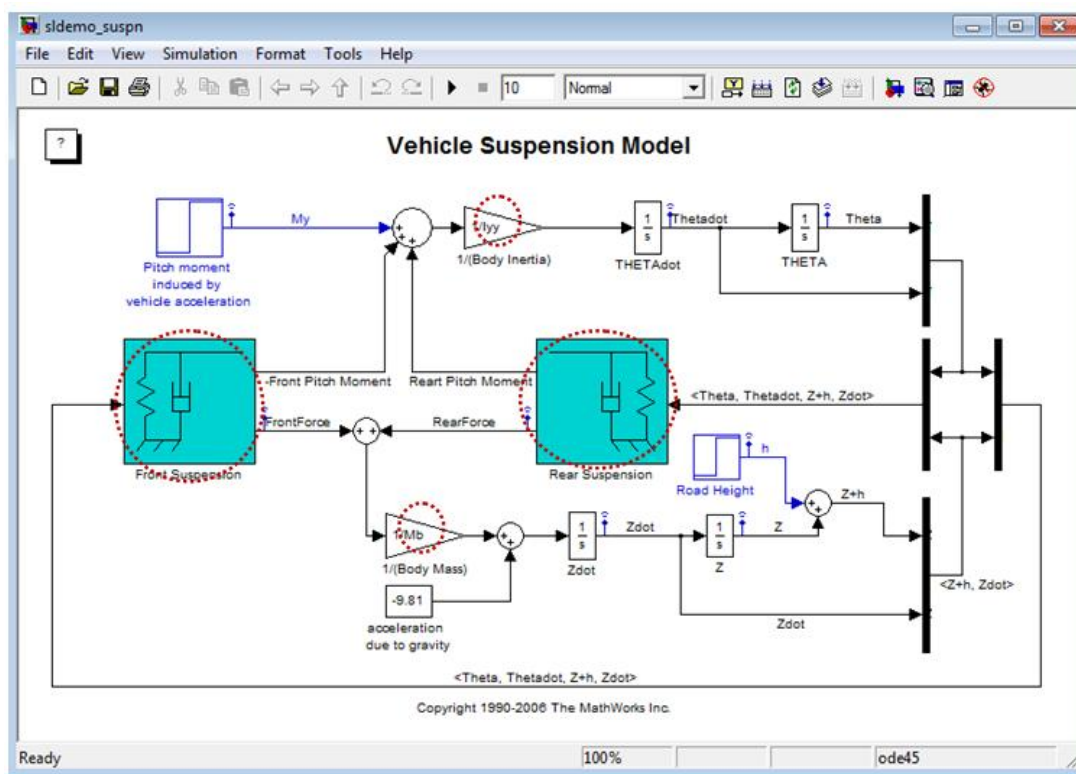
Слика 6.27. : Хидраулични цилиндар Слика 6.28. : Реални изглед хидрауличног мотора

7. Анализа карактеристика пројектованог система применом симулационих модела

7.1. Симулација рада система еластичног ослањања

На слици 4.2. у поглављу 4 овог мастер рада приказан је равански модел половине аутомобила да независним системом ослањања. У програмском пакету MATLAB (путања MATLAB *Command Window* > *sldemo_suspn*) постоји модел који се може испитивати, односно на основу кога се могу добити излази на којим се могу утврдити правила понашања елемента система еластичног ослањања у зависности од карактеристика елемената CEO.

Овај демо даје опис модела како би се појаснила симулација која се користи за добијање возних карактеристика. Модел се може користити у комбинацији са симулацијом рада погонске групе аутомобила како би се утврдиле подужне резултујуће силе, односно перформансе у зависности од положаја лептира уисног вода [13, 1].

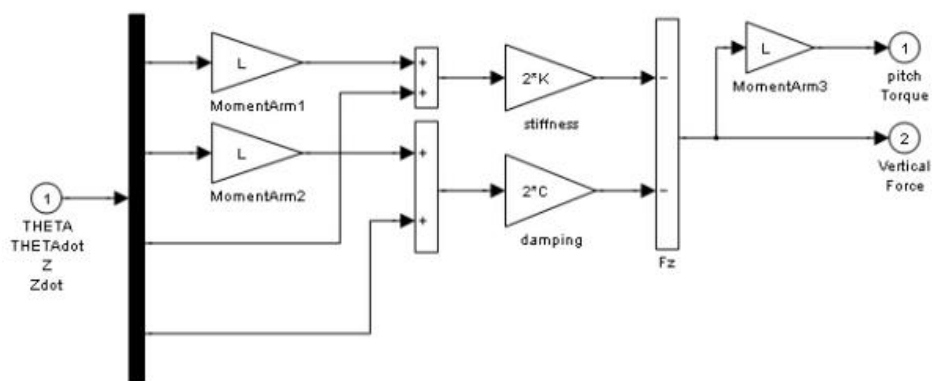


Слика 7.1. : Дијаграм модела ослањања половине возила [13]

Модел приказан на дијаграму (слика 7.1.) има два улаза, и обе улазне јединице (блока) су приказане плавом бојом на дијаграму. Први улаз јесте висина неравнина пута. Корак улаза који се тражи одговара условима у којим а возило прелази преко неравнина, односно

одговара кораку промене висине коловоза (прелази са избочине у удубљење и сл.). Други улаз је хоризонтална сила која делује у центру тачкова које се јављају приликом маневара кочења, односно убрзавања. Овај улаз се испољава само као у виду момента око попречне осе (осе галопирања) зато што подужно кретање каросерије возила није моделирано.

Подсистем опруга/амортизер који моделира понашање предњег и задњег СЕО је приказан на слици 7.2. Десним кликом на плаво обојену јединицу (предње/задње ослањање) на MATLAB моделу отвара се падајући мени где треба одабрати опцију *Look Under Mask* како би се отворио поменути подсистем. Управо су ти подсистеми коришћени за утврђивање једначина кретања о којима је говорено у поглављу 4. Једначине су директно убачене у *Simulink* дијаграм коришћењем математичких и статистичких операција.



Слика 7.2. : Модел система опруга/амортизер са два степена слободe, примењен у подсистемима предњег и задњег ослањања [13]

Разлике између предњег и задњег ослањања су прорачунате на начин који ће бити објашњен. Пошто је подсистем тзв. маскирани блок, различите вредности улазних величина (L , k и c) се могу усвојити за сваки систем појединачно. Подужна оса возила је оса x , а вредност величине L је позитивна или негативна у зависности од смера осе у односу на тежиште, које је уједно и координатни почетак. Стога, величине k_f , c_f и L_f се користе за блок-јединицу предњег ослањања, а k_r , c_r и L_r за блок-јединицу задњег ослањања.

Покретање симулације

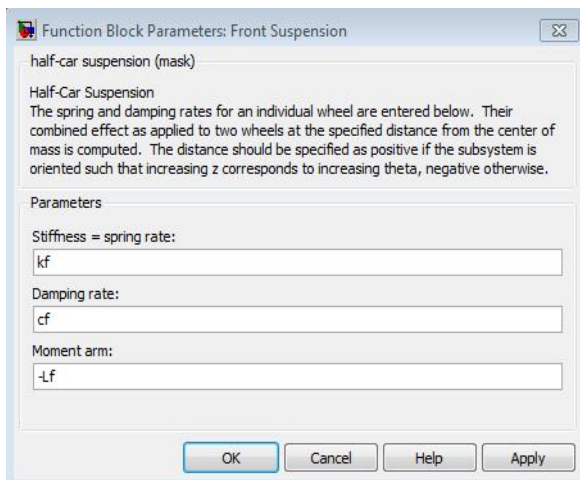
Одабиром дугмета *Play* на линији алата у дијалогу модела СЕО се покреће симулација. Почетни услови су учитани у радни простор модела из датотеке *sldemo_suspd.m*. За преглед садржаја дијалога радног простора бира се *View meny>Model Explorer*, потом погледати садржај *sldemo_suspn* модела и одабрати *Model Workspace*. Учитавање почетних услова у радни простор модела спречава случајне промене параметара и одржава радни простор чистим.

У табели 7.1. су дате карактеристике уопштеног путничког возила – димензије и маса возила, као и карактеристике завојних опруга и пригушних елемената система еластичног

ослањања. Вредности параметара из табеле се уносе директно у MATLAB>Simulink модел, који је дат у дијалог-прозору на слици 7.1. Црвеном бојом су означени параметри чије се вредности једноставно уносе у симулациони модел CEO.

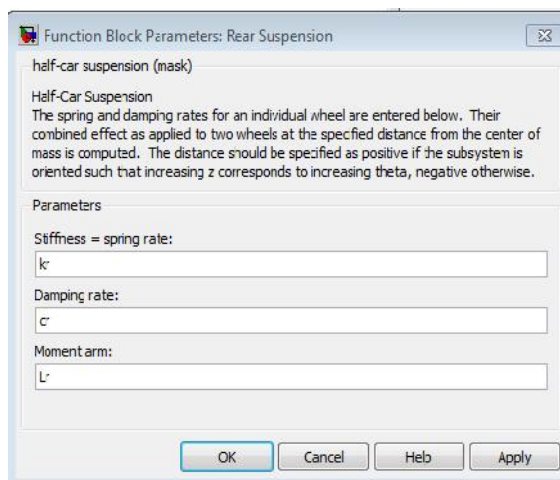
Табела 7.1. : Усвојене величине возила чији CEO се симулира	
$L_f = 0.9 \text{ m}$	растојање између центра предњег точка до тежишта аутомобила
$L_r = 1.2 \text{ m}$	растојање између центра задњег точка до тежишта аутомобила
$M_b = 1310 \text{ kg}$	маса надградње
$I_{yy} = 2100 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$	момент инерције око попречне у - осе
$k_f = 28000 \text{ N/m}$	коэф. крутости предње опруге CEO
$k_r = 21000 \text{ N/m}$	коэф. крутости задње опруге CEO
$c_f = 2500 \text{ N} \cdot \text{s/m}$	коэф. пригушења предњег амортизера
$c_r = 2000 \text{ N} \cdot \text{s/m}$	коэф. пригушења задњег амортизера

На сликама које следе су приказани дијалог прозори у које се уносе усвојене вредности из табеле 7.1. У дијалог прозоре дате на сликама 7.3. и 7.4 се уносе параметри предњег и задњег ослањања (опруга и амортизера), као и растојања од тежишта до средишта предњег, односно задњег точка.



Дијалог-прозори за унос усвојених параметара система еластичног ослањања

Слика 7.3. : предње ослањање

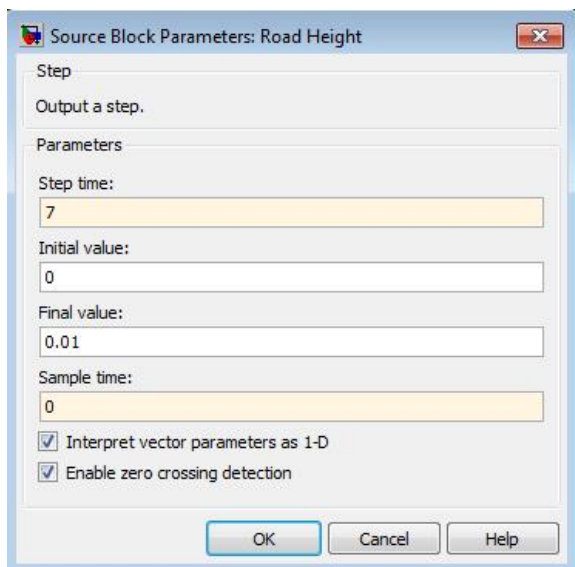


Слика 7.4. : задње ослањање

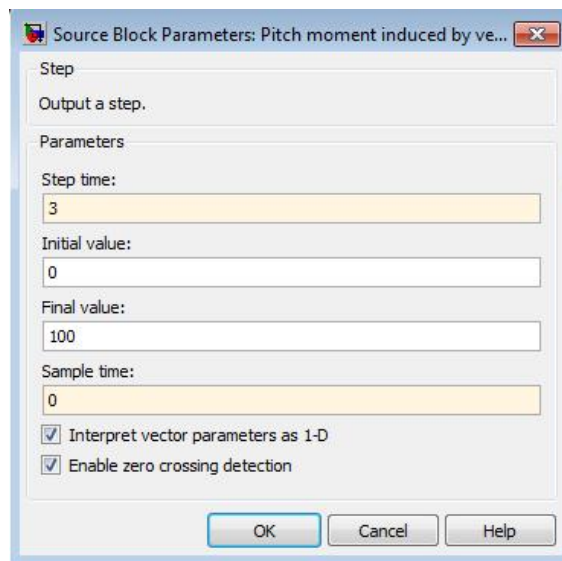
На сликама 7.5. и 7.6. су приказани дијалог-прозори у које се уносе параметри који су плавом бојом приказани на дијаграму са слике 7.1. Параметри се усвајају према условима вожње, а у овом конкретном случају су одабране вредности на основу емпиријских података из ранијих симулација.

Први прозор се односи на вредности неравнина пута. Неравнине пута се прате преко тзв. степ или корачне функције. Овај тип функције се примењује у овом конкретном примеру, али је важно нагласити да то могу бити и функције другог типа, а најчешће су то хармонијске функције преко којих су представљене неравнине коловоза.

У други прозор се уносе параметри којима се описује момент галопирања око попречне осе возила, који се јавља приликом убрзавања, односно успоравања возила. Овај момент се такође представља преко степ функције.



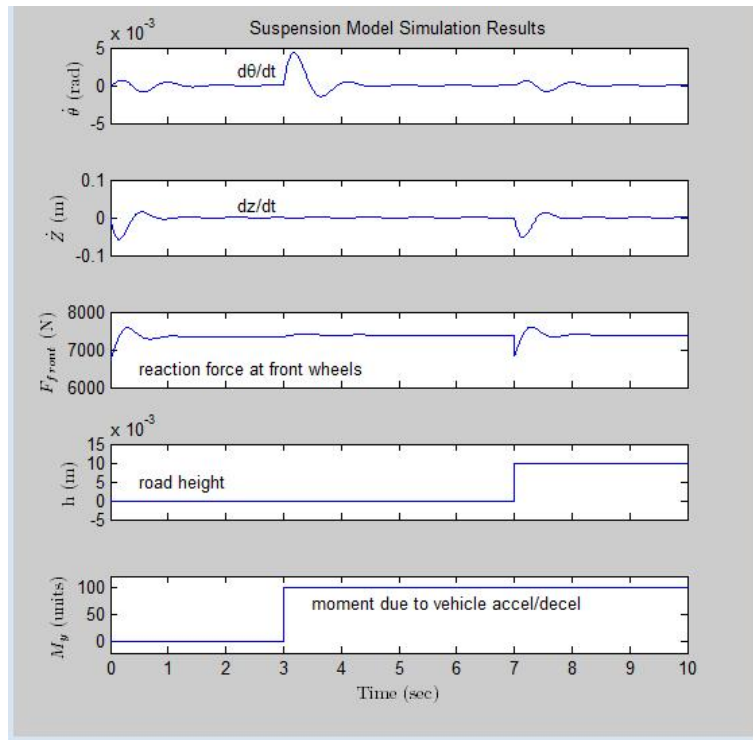
Слика 7.5. : Параметри путних услова



Слика 7.6. : Момент галопирања возила

Резултати симулације су дати на слици 7.7. Резултати су приказани путем фајла *sldemo_suspgraph.m*.

Закључује се да посматрани модел обезбеђује симулацију промене карактеристика СЕО у различитим условима кретања, и самим тим истражује компромис између комфора и перформанси. Генерално, тркачки аутомобили имају веома круте опруге са високим степеном пригушења, док путничка возила имају мекше, односно опруге мање крутости и већу осцилаторну удобност [13].



Слика 7.7. : Резултати симулације

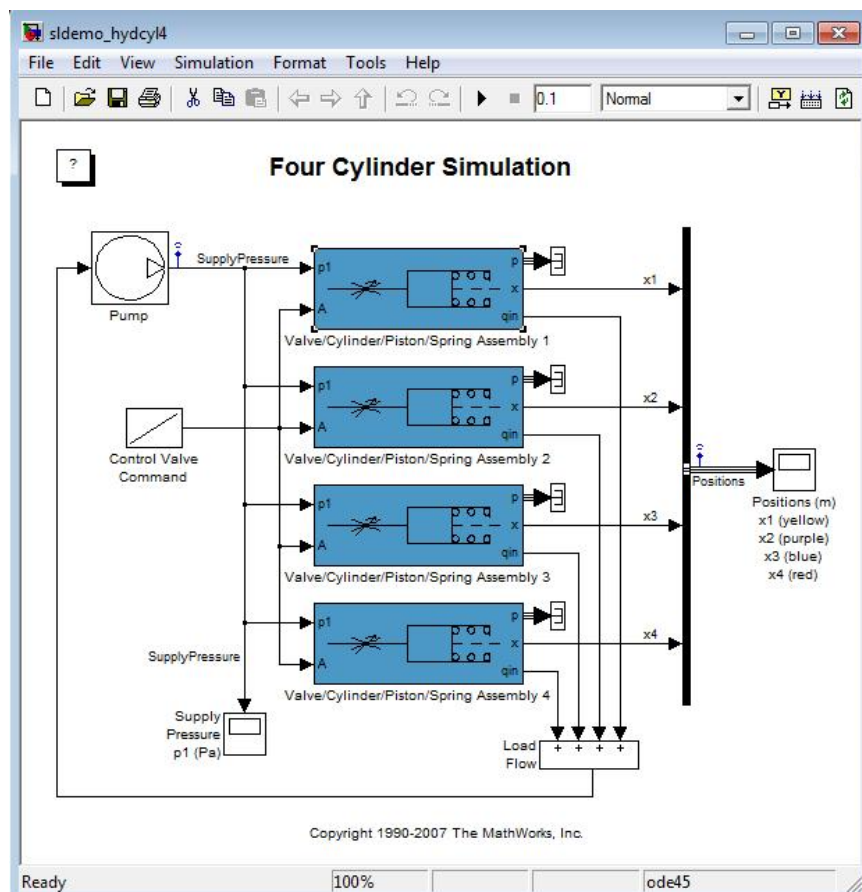
7.2. Симулација рада четири хидраулична цилиндра

Симулација користи *Simulink* са циљем упознавања карактеристика модела са четири хидраулична цилиндра, односно рада актуатора који се користе у системима активног еластичног ослањања моторних возила. Две сличне симулације су модел са једним цилиндром и модел са два цилиндра и ограниченим силама. На слици 7.8. је приказан блок-дијаграм симулационог модела хидрауличних цилиндара.

Овај модел се састоји од једне пумпе и четири актуатора. Идентичан притисак пумпе (p_1) погони сваки цилиндар појединачно и збир њихових протока покреће пумпу. Иако се сваки од четири контролна вентила може контролисати засебно, као код активно контролисаог СЕО, у овом конкретном случају сви вентили примају исте команде, линеарна рампа (поклопац) отвора величине од 0 до 0.002 m^2 [13].

Покретање симулације и опис модела

За отварање модела, потребно је укуцати команду *sldemo_hydcyl4* у MATLAB терминал. Притиском на дугме *Play* на линији алата се покреће симулација. Плавом бојом су приказани улазни сигнали (енгл. *logged signals*).



Слика 7.8. : Симулациони модел четири хидраулична актуатора

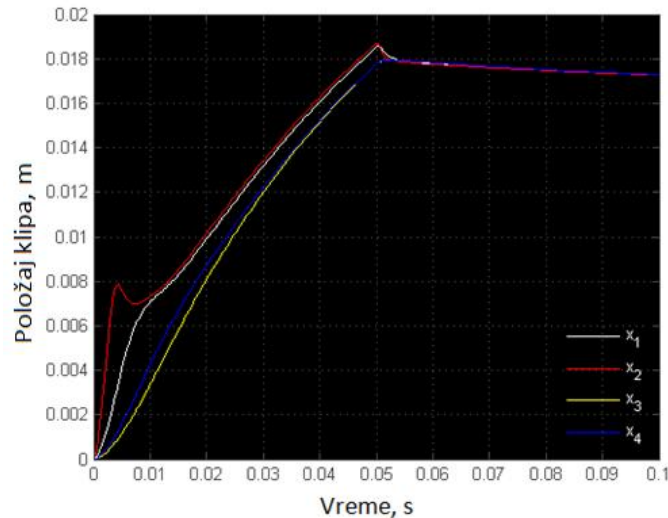
У табели 7.2. су дати усвојене карактеристике актуатора, односно хидрауличних цилиндара који се примењују у системима активног ослањања возила.

Када пумпа почне са радом, запремински проток радног флуида износи $0.005 \text{ m}^3/\text{s}$, а након 5 s рада ($t=5 \text{ s}$) проток се снижава и износи $0.0025 \text{ m}^3/\text{s}$. Усвајајући вредности величина K , A и β , сваки од четири цилиндара испољава својствене реакције, односно особине.

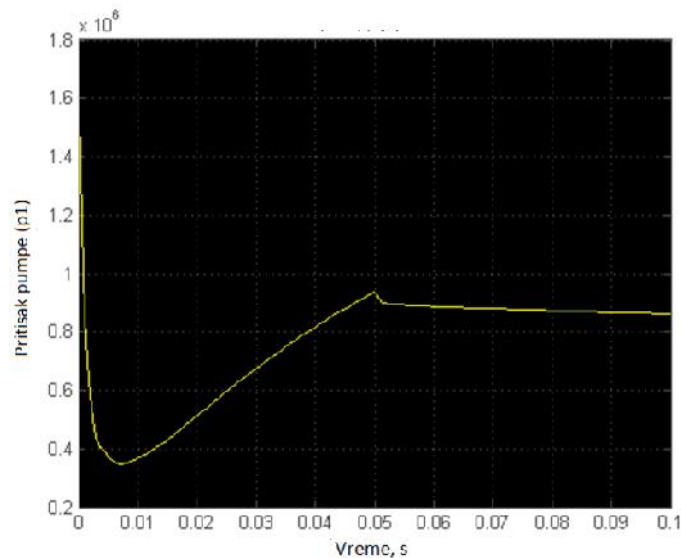
Табела 7.2. : Усвојене карактеристике хидрауличних актуатора				
Параметар	Актуатор 1	Актуатор 2	Актуатор 3	Актуатор 4
Коеф. крутости опруге	K	$K/4$	$4K$	K
Површина клипа	A_c	$A_c/4$	$4A_c$	A_c
Модул стишљивости флуида	β	β	β	β
$A_c = 1\text{e-}3 \text{ m}^2$ - површина попречног пресека цилиндра				
$K = 5\text{e}4 \text{ N/m}$				
$\beta = 7\text{e}8 \text{ Pa}$				

Из димензионе анализе је закључено да је доминантна временска константа за сваки актуаторски подсистем пропорционална односу $\frac{A_c^2}{K}$, па се може очекивати да одзив клипа 2 буде нешто бржи од одзива клипа 1. Очекивано је и да клип, односно клипни склоп 3 буде спорији од клипова 1 и 2. Клип 4 има знатно нижу вредност коефицијента β (као што је случај са ваздухом), према томе се очекује да клип 4 реагује спорије од клипа 1.

Резултати симулације рада хидрауличних актуатора су дати на сликама 7.9. и 7.10.



Слика 7.9. : Позиције клипова – резултати симулације модела са четири хидраулична актуатора



Слика 7.10. : Резултати симулације – радни притисак пумпе, p_1

Иницијални пораст протока у тренутку $t=0$ четири актуатора виде као импулс промене притиска. Радни притисак пумпе, p_1 , који је иницијално висок, потом убрзано опада због потребе за великим протоком флуида од стране актуатора. Током почетног периода рада

(око 4 ms), различити одзиви указују на појединачне динамичке карактеристике сваке јединице склопа.

Као што је предвиђено унетим вредностима параметара, актуатор 2 реагује много брже од актуатора 1. Трећи и четврти клип имају много спорији одзив зато што траже већу количину радног флуида за исте ходове. У случају 3, клип има веће ходове због свог већег попречног пресека. У случају 4, иако је ход клипа исти као у случају 1, уређај захтева више флуида зато што је касније почео процес сабијања.

Како радни притисак пумпе опада унутар цилиндара, разлике у понашању, односно одзивима се умањују. Индивидуални одзиви се стапају у укупни одзив који одржава равнотежу протока између компонената. У тренутку $t=0.05$ s, проток пумпе опада на ниво који је близак нивоу уравнотежења и проток актуатора је близак нули. Индивидуални статични положаји су једнаки, и предвиђени током конструисања модела [21].

8. Закључна разматрања

Дакле, систем еластичног ослањања има комплексан задатак - да пренесе реактивне силе које се јављају између точка и тла на каросерију и да притом апсорбује и пригуши оне компоненте које би могле да изазову нежељене ефекте у смислу века трајања возила, осцилаторне удобности путника, као и нарушавања одређених геометријских односа који би могли негативно да се одразе на стабилност и безбедност возила. Такође, треба да обезбеди вођење точкова по унапред дефинисаној путањи.

У фазама пројектовања и усавршавања система еластичног ослањања на возилу увек се долази до проблема тражења и изналагања компромиса између захтева за што бољом стабилношћу возила на путу и што бољом удобношћу вожње путника. Развој технологије у електронској и хемијској индустрији омогућио је да се овај проблем може решавати и пројектовањем потпуно активних или полуактивних система ослањања.

Потпуно активни СЕО, у општем случају, захтевни су у погледу погона. Пасивни системи, са друге стране, не могу да обезбеде смањено кретање ослоњене масе при резонантним фреквенцијама ослоњене масе и точкова аутомобила.

Недостаци дизајна потпуно активног система еластичног ослањања су висока цена, маса, односно комплексност елемената овог система, као и потреба честог одржавања појединих делова система.

Међутим, и поред наведених проблема, предности активног електронски контролисаног СЕО су огромне. Пре свега, коначно је могуће успоставити толико пута тражени компромис између комфора путника и перформанси возила.

Развој аутоматике и информатике је пружио могућност реализације компјутерског управљања системима аутомобила.

Програмски пакети, попут MATLAB-а, у великој мери помажу испитивању и унапређивању СЕО на возилима јер нуде симулационе моделе на основу којих се може утврдити понашање система ослањања у различитим режимима кретања. Симулациони модели знатно доприносе развоју активних СЕО, а самим тим приближавају конструкторе заједничком циљу - снижавању цене производње и уградњи активних СЕО у возила широке примене.

Адаптивном, односно активном контролом СЕО возила се доприноси стабилности кретања возила, а самим тим се остварује најважнији циљ – повећање безбедности човека у саобраћају.

9. Литература

- [1] Александра Јанковић, Динамика аутомобила, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2008.
- [2] А. Јанковић, Д. Лаловић, М. Ђукић, Ослањање путничких возила – квазистатички прорачун независног ослањања, ДД Застава аутомобили – Институт за аутомобиле, Крагујевац, 2000.
- [3] Мирослав Демић, Оптимизација осцилаторних система моторних возила, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 1997.
- [4] Мирослав Демић, Кибернетски систем: човек – возило – окружење, Центар за научна истраживања САНУ и Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2008.
- [5] Tim Denton, Automobile electrical and electronic systems (3rd edition), Elsevier Butterworth-Heinemann, Great Britain, 2004, интернет страница: http://www.sae.org/images/books/toc_pdfs/R363.pdf, преузето 02-12-2011.
- [6] Automobile History, интернет страница: <http://www.motorera.com/history/hist08.htm>, преузето 06.08.2012.
- [7] И. Филиповић, Мотори и моторна возила, Машински факултет у Тузли, Тузла, 2006.
- [8] Јованка Лукић, Јасна Глишовић, Материјал са предавања и вежби из предмета Структура и конструкција МВ, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2010.
- [9] Интернет страница: http://www.blogcdn.com/www.autoblog.com/media/2009/07/magneride_shocks_lead.jpg, преузето 15-01-2012.
- [10] Александар Грујовић, Електроника аутомобила, Машински факултет у Крагујевцу, Центар за информационе технологије, Крагујевац, 2008.
- [11] Bose suspension system, интернет страница: <http://auto.howstuffworks.com/car-suspension9.htm>, преузето 15-01-2012.
- [12] Интернет страница: <http://www.extremetech.com/extreme/97177-bose-active-suspension-moves-toward-market/attachment/bose-active-suspension-diagram>, преузето 23-01-2012.
- [13] Документација програмског пакета MATLAB, The MathWorks Inc, 2008.
- [14] Bernd Heiβing, Metin Ersoy, Fahrmerkhandbuch, ATZ/MTZ Magazine, 2007.
- [15] Драган Тарановић, Материјал са предавања и вежби из претмета Мехатроника МВМ, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2011.
- [16] Sensors and actuators, Toyota Motor Sales, интернет страница: www.autoshop101.com/forms/h15.pdf, преузето 23-01-2012.
- [17] Ј. Велагић, Основе актуатора – наставни материјал, Електротехнички факултет Сарајево, Сарајево, 2009.
- [18] Allan W. M. Bonnick, Automotive computer controlled systems – Diagnostic tools and techniques, Oxford, 2001.

- [19] Интернет страница: http://autorepair.about.com/cs/generalinfo/l/bldef_160.htm, преузето 16.09.2012.
- [20] Душан Гордић, Пренос снаге флуидом – хидраулика, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2007.