

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Структура и конструкција моторних возила

Број индекса: 370/2013

Милан В. Ћулафић

Системи активног ослањања

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Јасна Глишовић, доцент -ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да анализира системе еластичног ослањања, као важне факторе осцилаторне удобности и стабилности кретања, на савременим путничким возилима. Потребно је приказати развој СЕО од пасивних, полуактивних до најновијих активних система ослањања. Извршити упоредну анализу поменутих врста СЕО и истаћи данас најчешћа примењивана решења активних система ослањања. Приказати начин моделирања активног СЕО у софтверском пакету и пример добијених резултата.

Препоручена литература:

- [1] М. Демић; Оптимизација осцилаторних система моторних возила, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац 1997.
- [2] S. M. Savaresi, C.Poussot-Vassal, C. Spelta, O.Senameand L.Dugard,Semi-Active Suspension Control Design for Vehicles, Butterworth-Heinemann, 2010, ISBN: 978-0-08-096678-6
- [3] Ј. Велаги: Аутомобилски мехатронички процеси – суспензија, Електротехнички факултет Сарајево, школска 2007/08.
- [4] В. Поповић; Мехатроника на возилу, Систем активног ослањања, Факултет техничких наука у Новом Сад.

Крагујевац, 15.04.2015.

ментор:

Др Јасна Глишовић, доцент

Резиме:

Произвођачи и конструктори аутомобила имају сложен задатак да конструишу и произведу путничко возило које ће бити комфортно, стабилно и лако управљиво. У раду су анализирани системи еластичног ослањања путничких моторних возила, као и њихов развој и примена на савременим моделима реномираних произвођача. Описане су и анализиране карактеристике пасивних, полуактивних и активних система еластичног ослањања. Такође су приказана и поједина савремена извођења активних система ослањања, а кроз рад је вршено и поређење њихових радних карактеристика у односу на пасивне системе. Анализирани су поједини примери моделирања полуактивних и активних система еластичног ослањања, те је на тај начин извршено поређење њихових пригушних својства и одзиви система на побуде проузроковане неравнинама пута.

Кључне речи: возило, ослањање, активно ослањање.

Summary:

Producers and vehicle constructors have the complex task to design and produce the passenger vehicle which would be comfortable, stable and easy to steer. The systems of passenger vehicle's elastic suspension are analysed in this master thesis, as well as their development and use on contemporary models of the renewed producers are analysed too. The characteristics of passive, semi-active and active systems of the elastic suspension are described and analysed. Some active suspension systems of contemporary performances are shown too, and throughout the master thesis their comparison of working characteristics with passive systems are performed. Some examples of semi-active and active systems of the elastic suspensions are analysed and, in this way, the comparison of their stifling characteristics and system responses to motivations caused prominences on a road is shown.

Key words: vehicle, suspensions, active suspensions

Садржај:

1. Увод	6
2. Врсте и класификација система еластичног ослањања	7
2.1. Примењена решења система еластичног ослањања на моторним возилима	7
2.2. Подела СЕО у зависности од начина реаговања на вибрационе побуде	9
3. Пасивни системи еластичног ослањања – конструкциона извођења	11
4. Полуактивни системи еластичног ослањања	19
4.1. Примена полуактивног ослањања на савременим возилима	24
4.2. Амортизери код полуактивног СЕО и њихова пригушна својства	29
4.3. Пример моделирања полуактивног СЕО	33
5. Активни системи еластичног ослањања	37
5.1. Примена активног СЕО на савременим возилима	39
5.2. Амортизери код активног СЕО	48
6. Основни типови извођења активних СЕО	58
6.1. Хидро – пнеуматски системи активног ослањања	58
6.2. Електромагнетни СЕО	63
6.3. Динамичко ослањање возила	67
6.4. Препоруке при избору СЕО	69
7. Моделирање осцилаторног понашања СЕО	74
7.1. Одзив активног СЕО – затворени систем (PID регулација)	77
8. Закључак	81
Литература	82

1. Увод

Конструктори возила теже све већем побољшању система ослањања, повећању чврстоће и издржљивости компоненти, као и електронском контролисању конструкције СЕО (систем еластичног ослањања), чиме се директно утиче на побољшање комфора – удобности и безбедности током вожње.

Свестрано проучавање интеракције између система управљања и СЕО путничких возила подразумева: познавање заступљености појединих концепција ових система на савременим возилима, познавање варијанти ових система уграђених на најновијим моделима познатих светских произвођача и праћење трендова њиховог развоја и примене.

Произвођачи аутомобила, у својим конструкцијама, стално настоје да унапреде решења која примењују на системима нових модела возила. Тиме се, практично, стварају трендови у развоју појединих система возила, пример развоја је и СЕО. Тренд развоја појединих СЕО (погонских и непогонских) точкова огледа се у испуњењу захтева везаних за олакшање конструкције и економичност искоришћења простора. Високи стандарди безбедности и комфора, као и велики број расположиве додатне опреме, чине данашње возило тежим. Повећању масе мора се супротставити конструкција елемената возила од лаких материјала, да би се смањила потрошња погонских материјала и побољшало понашање возила у вожњи. Да би се искористио укупан потенцијал пнеуматика, неопходно је имати СЕО који омогућава контра – нагиб точка при кретању у кривини и при том смањити проклизавање пнеуматика.

Садашњи СЕО то омогућава дејством у два нивоа:

- ограничавањем промене нагиба везане за заокретање ослоњене масе возила око подужне осе возила преко кинематике осовине (садашње вредности крећу се од 0% код круте осовине, до 1% код осовина са две подужне вођице) и
- увођењем статичког нагиба точка различитог од нуле.

Из литературе су познати примери концепције СЕО који генеришу контра нагиб точка при кретању у кривини:

- помоћу активних система еластичног ослањања и
- помоћу кинематских односа (негативни нагиб точка при клаћењу, негативни нагиб точка везан за управљање, итд.).

Активни СЕО има способност да се континуално прилагођава променама у условима пута, уз напредне даваче и микропроцесоре који стално обезбеђују информације и тако мењајући карактер СЕО сталним праћењем и самоприлагођавањем.

2. Врсте и класификација система еластичног ослањања

СЕО (систем еластичног ослањања) треба да задовољи бројне и комплексне захтеве. Они се могу сврстати у неколико основних група и то:

- могућност кретања, до граничних брзина, по неравним путевима,
- мале промене трајекторије осциловања управљачких точкова при кретању по неравним путевима,
- обезбеђење добре стабилности и проходности,
- брзо пригушивање осцилација тела и точкова и
- минималне величине неослоњених маса и њихово оптимално компоновање у тражену целину [1].

СЕО има задатак да ублажи и пригуши силе које се од неравнина пута преносе на каросерију аутомобила. Такође, треба да обезбеди вођење точкова по унапред дефинисаној путањи. Уколико СЕО у већој мери смањује негативан утицај пута, утолико се може говорити о већој ефикасности и бољим укупним карактеристикама.

2.1. Примењена решења система еластичног ослањања на моторним возилима

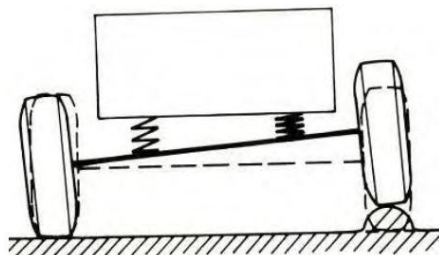
Према примењеним решењима система еластичног ослањања на разним врстама возила, корисно је извршити систематизацију према битним карактеристичним величинама. Према врсти и карактеру елемената за вођење тачка, системи ослањања се деле на:

- зависне и
- независне.

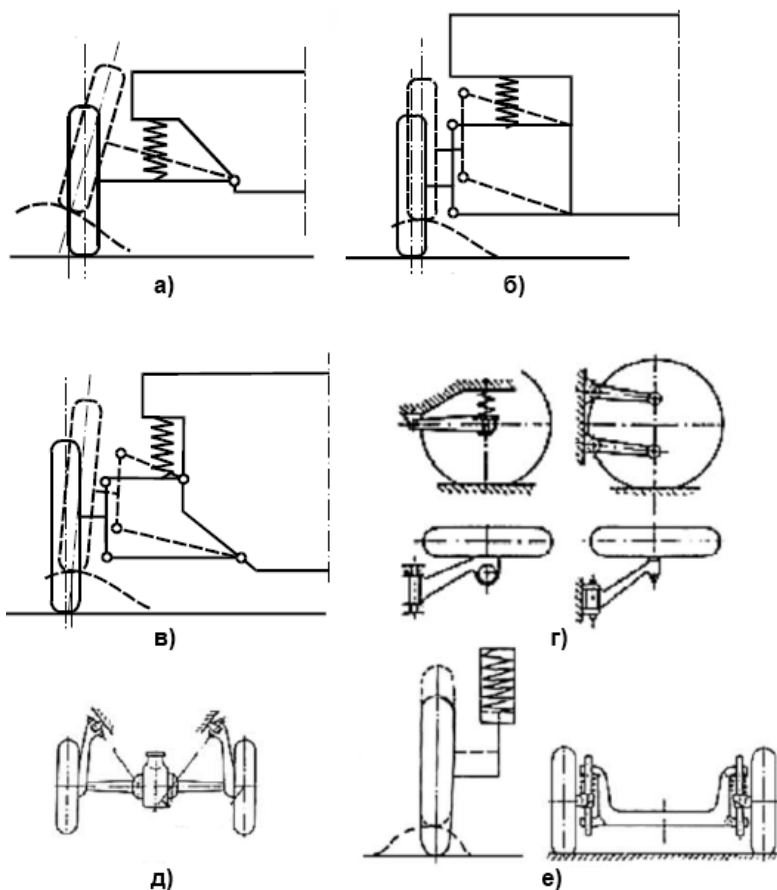
Зависни системи су везани за појам крутог моста било погонског било управљачког, код кога крута греда везује леви и десни точак при чему се померање једног точка у попречној равни преноси и на други точак (сл. 2.1). Ови системи су најједноставнији, али не пружају могућности обезбеђења правилне кинематике управљања. На погонским мостовима који нису управљачки, системи зависног ослањања се срећу врло често код путничких возила, а код осталих врста возила практично увек [4].

Независни системи ослањања се данас практично обавезно срећу на управљачким мостовима путничких возила, а често, у последње време све више и на њиховим погонским мостовима. Код независних система, механизам за вођење преузима на себе и функцију управљачког моста у целини, уколико се ради о предњим точковима. Погонски мост се, у овом случају (ако није управљачки), не може изградити у јединственом крутом кућишту, већ се точкови везују са диференцијалом преко полувратила изведених као зглобни преносници и то углавном као асинхрони (неједнаких угаоних брзина) [4].

У зависности од тога у којој се равни помера тачка, разликују се системи независног ослањања са: померањем тачка у попречној равни са једном попречном вођицом (сл. 2.2а) или са две попречне вођице истих дужина (сл. 2.2б) или са две попречне вођице различитих дужина (сл. 2.2в), померањем тачка у уздужној равни – са једном или две подужне вођице (сл. 2.2г) и са померањем тачка у уздужној и попречној равни са постављеним вођицама под одређеним углом у односу на попречну и подужно равни (сл. 2.2д), вертикалним померањем преко вођице (сл. 2.2е) [4].



Слика 2.1 – Шема класичног зависног ослањања [4]



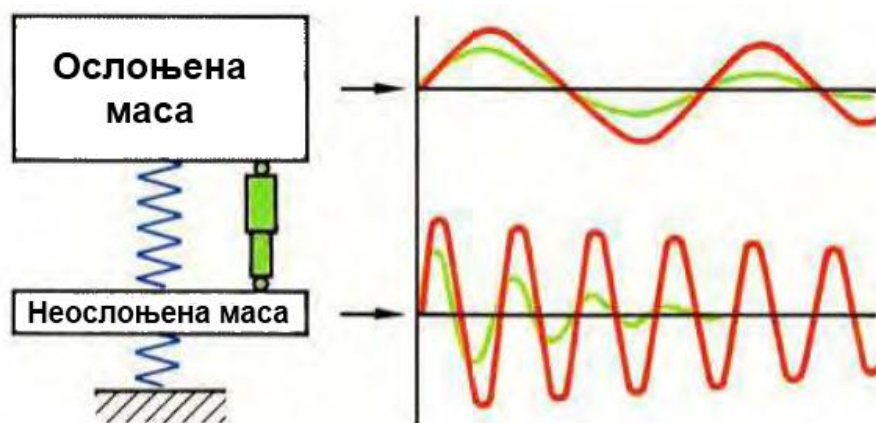
Слика 2.2 – Систем независног ослањања: а) са једном попречном вођицом, б) са две попречне вођице истих дужина, в) са две попречне вођице различитих дужина, г) са једном или две подужне вођице, д) са померањем тачка у уздужној и попречној равни, е) са вертикалним померањем преко вођице [4]

Према врсти еластичних елемената системи ослањања се могу сврстати у следеће групе:

- са лиснатим гибњевима,
- са спиралним опругама,
- са торзионим опругама,
- са пнеуматским еластичним елементима,
- са хидрауличким еластичним елементима и
- са комбинованим еластичним елементима [4].

Еластични елементи од метала израђују се као: лиснате опруге (гибњеви), завојне опруге и торзиони штапови. У неметалне еластичне ослоње спадају пнеуматски и хидраулички еластични елементи. На новијим конструкцијама возила често се сусрећу два па и више врста еластичних елемената. У том случају се говори о комбинованим еластичним елементима.

Под ослоњеном масом подразумевају се сви делови изнад еластичних елемената (нпр. гибњева), чија тежина оптерећује еластичне елементе. Овој групи елемената се додаје и половина масе самих елемената. Аналогно томе, сви елементи односно масе испод еластичних елемената, чија тежина не оптерећује еластичне елементе, називају се неослоњеном масом. Сходно овоме масе предње и задње осовине и половина масе еластичних елемената припадају групи такозваних неослоњених маса (сл. 2.3) (у литератури се поред појма „ослоњена“ и „неослоњена“ маса врло често среће појам са истим значењем „овешане“ и „неовешане масе“) [5].



Слика 2.3 – Ослоњене мсе и неослоњене масе система [5]

2.2. Подела СЕО у зависности од начина реаговања на вибрационе побуде

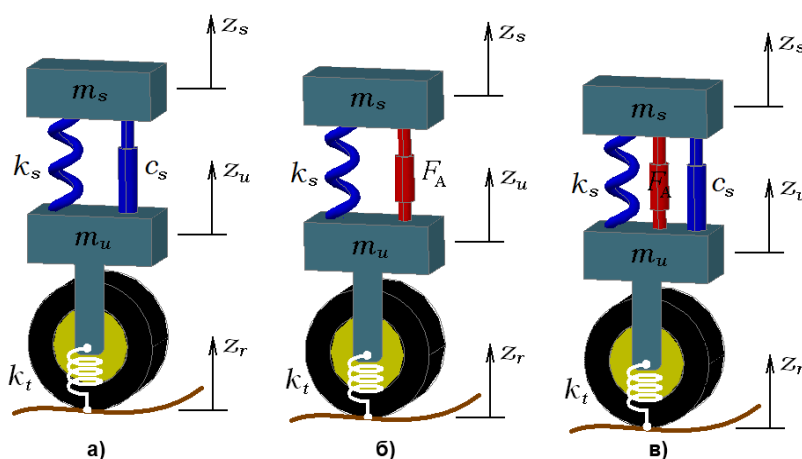
У зависности од начина реаговања на вибрационе побуде, СЕО могу бити:

- пасивни и
- са регулисаним карактеристикама (полуактивни и активни).

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) [1].

Развој аутоматике и информатике је пружио могућност реализације управљања системима аутомобила. 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. Уколико се код система за ослањање може постићи промена карактеристика опруге, или чешће, пригушивача, при свакој промени стања, ради се о полуактивном систему за ослањање. 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 [1].

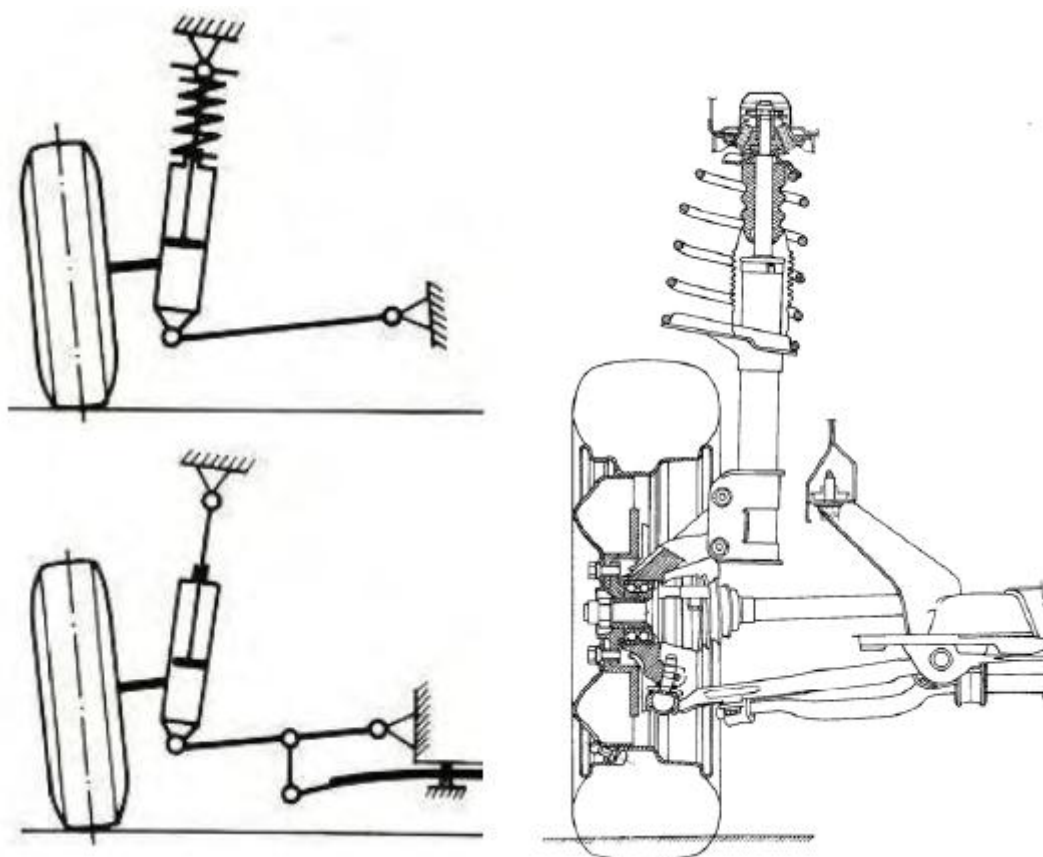
СЕО коме се додаје генератор активне силе (уређај који може у сваком тренутку генерисати силу зависно од информација о стању система), представља активни систем за ослањање. Код савремених аутомобила, завојне опруге налазе већу примену СЕО, посебно када су предњи точкови истовремено погонски и управљајући. На слици 2.4 приказан су осцилаторни модели ослоњене масе путничког возила са пасивним, активним електромагнетним и активним хидрауличким СЕО.



Слика 2.4 – Осцилаторни модели ослоњене масе путничког возила: а) пасиван СЕО, б) активан електромагнетни СЕО, в) активан хидраулички СЕО: (m_s – ослоњена маса возила (1/4 каросерије), m_u – неослоњена маса возила (точка), k_s – еквивалентна крутост (каросерије), k_t – еквивалентна крутост (точка), c_s – коефицијент пригушења, F_A – сила којом делује хидраулички актуатор, Z_s – вертикална вибрација ослоњене масе и одговарајуће брзине, Z_u – вертикална вибрација неослоњене масе и одговарајуће брзине, Z_r – случајна функција побуде пута и њене брзине) [3]

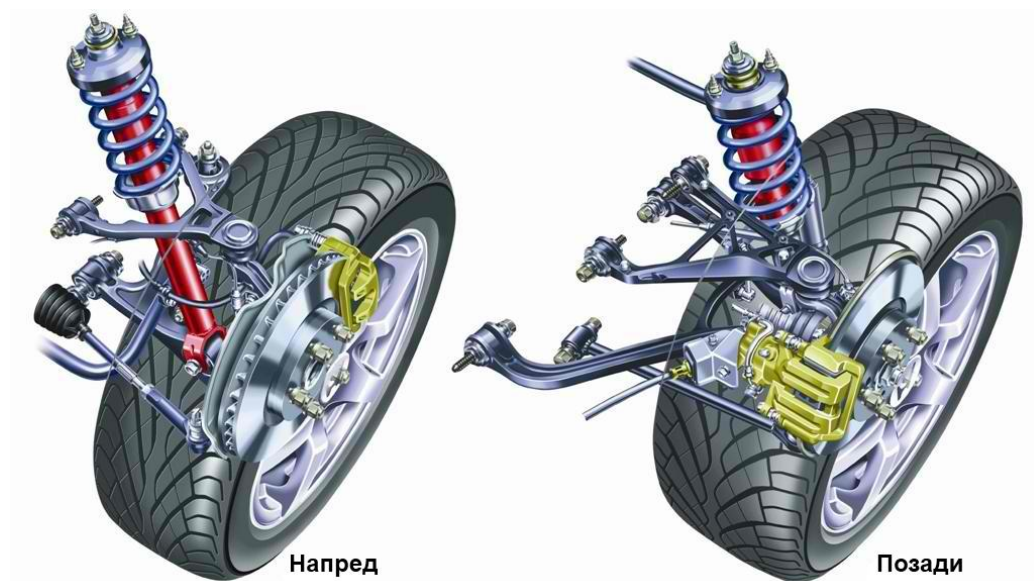
3. Пасивни системи еластичног ослањања – конструктива извођења

„Макферсон ноге“ представљају најчешћи пример конструкције СЕО предње осовине савремених путничких возила. На слици 2.1. шематски приказано предње ослањање возила са вођењем у попречној равни – „Макферсон ноге“ (McPherson) (лево) и решења предњег СЕО аутомобила FiatPunto (десно).



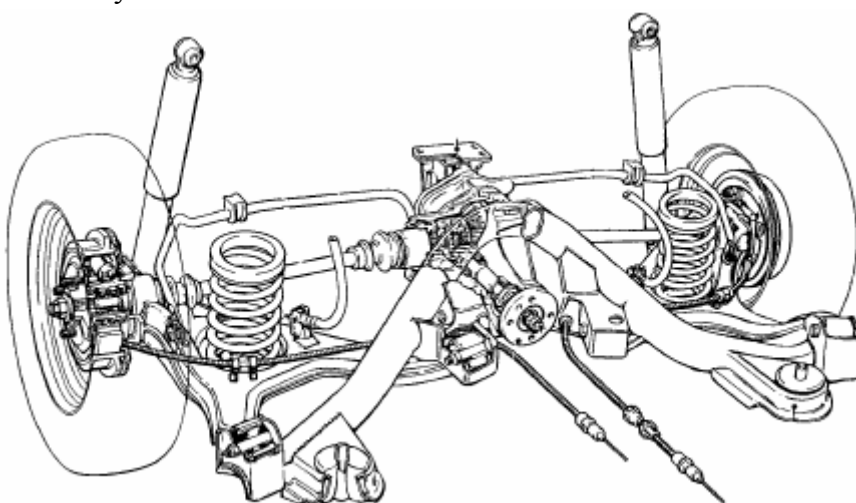
Слика 3.1 – Лево: шематски приказано предње ослањање возила са вођењем у попречној равни – McPherson, Десно: предњи СЕО типа McPherson на путничком аутомобилу FiatPunto [1,4]

Double wishbone – двоструко ослањање. Овако ослањање возила даје максималну прецизност управљања точковима. Double wishbone систем ослањања има горњу и доњу вилушку које омогућавају оптималан контакт точкова што даје стабилност у вожњи. Удобност вожње је додатно побољшана „Dual action“ гасним амортизерима, стабилизатором и опругама. Осим тога, точкови се крећу независно један од другог, смањујући кретање шасије при лошим условима на путу, одржавајући оптималну контролу точкова све време. На слици 3.2 приказано је Double wishbone ослањање код спортског аутомобила Honda S2000.

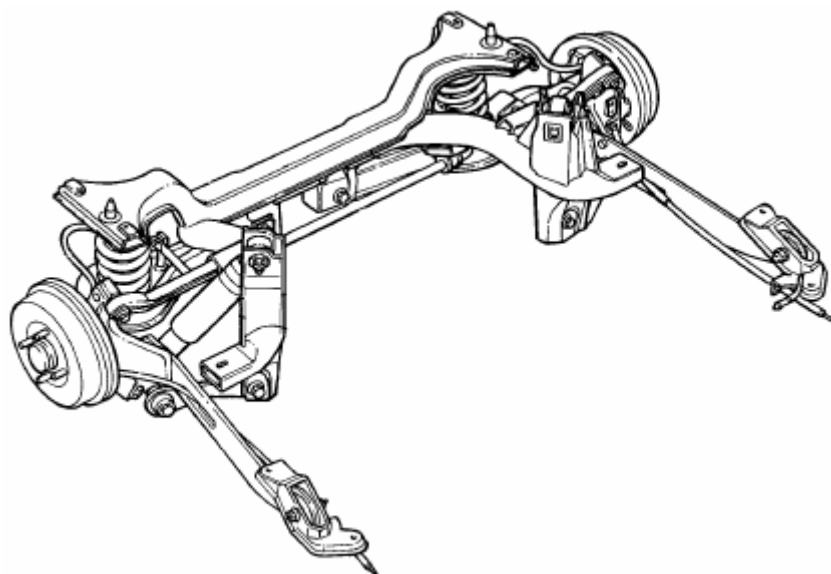


Слика 3.2 – Double wishbone ослањање код спортског аутомобила Honda S2000 [6]

СЕО задњих точкова, код аутомобила са предњим погонским и управљајући точковима, су у погледу конструктивних решења разноврснији, јер се поред основних, општих, захтева поставља и низ специфичних. Неколико захтева који посредно утичу на начин извођења задњег СЕО су: величина пртљажног простора, смештај резервног точка, смештај резервоара за гориво, повољно постављање издувног система, смештај команди помоћне кочнице и др. Сви набројани захтеви немају одлучујући утицај на усвајање концепције задњег система за ослањање, али се морају узети у разматрање приликом одлучивања [1]. Ради илустрације на слици 3.3. дат је приказ задњег СЕО аутомобила Ford Siera. Имајући у виду да СЕО чине и елементи за вођење, ради илустрације, на слици 3.4. приказан је систем са четири полуге (Multilink), који се одликује добрим вођењем точкова, уз малу промену геометрије ослањања точкова и смањено хабање пнеуматика.



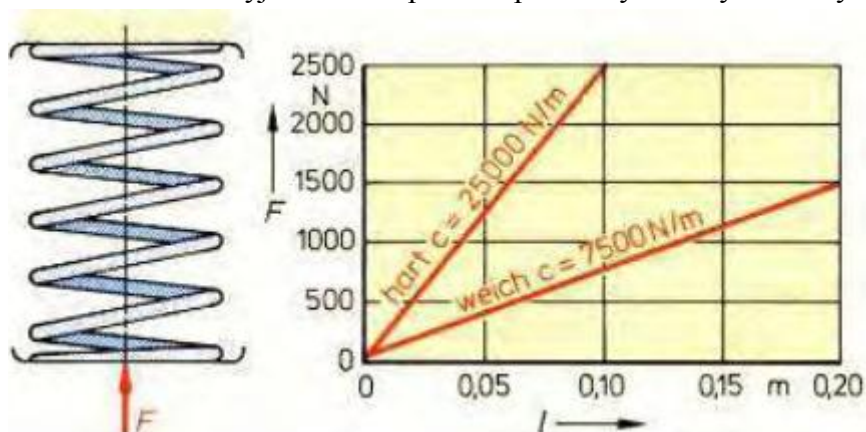
Слика 3.3 – Задњи СЕО аутомобила Ford Siera [1]



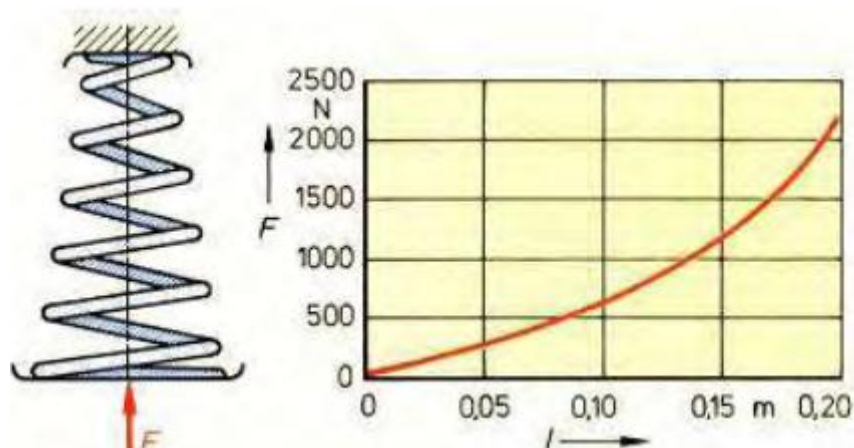
Слика 3.4 – Multilink систем за ослањање задњих точкова аутомобила [1]

Еластични елементи на себе примају вертикална оптерећења (опруге, лиснати гибњеви и слични) и разликују се према својој крутости (однос силе према угиба опруге) од меких до тврдих, а према промени дејства опруга исти могу да буду са линеарном (сл. 3.5) или прогресивном крутошћу (сл. 3.6) [5].

У принципу опруге са прогресивном крутошћу примењују се код возила код којих је маса терета већа у односу на масу возила (рецимо приколице) или теренских возила, дакле оних возила где се очекује велика промена радних услова у погледу оптерећења.



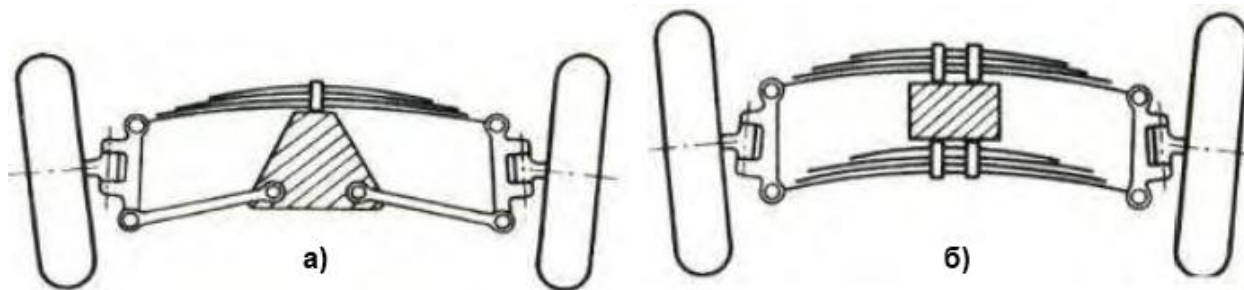
Слика 3.5 – Опруга линеарне крутости (hart – тврде; weich – меке опруге) [5]



Слика 3.6 – Опруга прогресивне крутости [5]

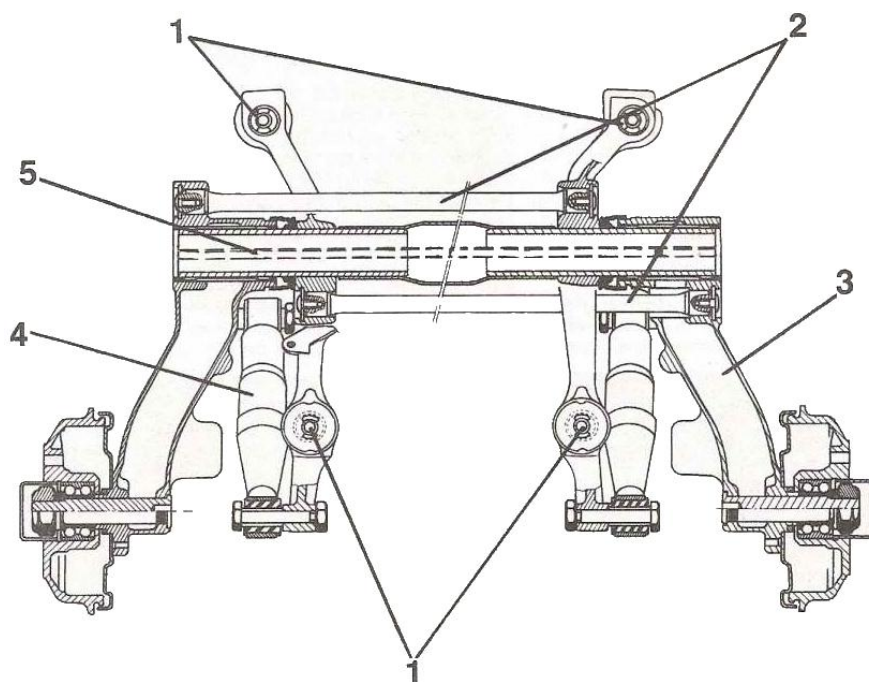
Лиснати гибњеви спадају у еластичне елементе који се под дејством силе савијају. Састављени су од подужних, појединачних листова, правоугаоног или елипсастог облика, међусобно наслаганих један на други по дужини, тако да образују полуелипсе. По средини сви листови гибња су притегнути једним централним завртњем ради спречавања међусобног подужног померања листова. Даље, по дужини, листови су чврсто повезани симетрично постављеним узенгијама, чиме се спречава међусобно бочно померање листова. Веза са носећим елементом (рамом или каросеријом) остварује се преко ушица на једном крају, у које су смештене гумо металне чауре. Други крај лиснатог гибња је слободан или везан узенгијама, тако да је могућа промена дужине гибња при угибању [5].

Код возила старијих концепција, конструкција се састоји врло често од једног попречно постављеног лиснатог гибња (као еластичног елемента) и једне троугласте вођице (сл. 3.7а), најчешће постављење на доњем делу конструкције. Исто тако могу се наћи конструкције где су уместо попречних вођица и гибњева постављена два попречно постављена лисната гибња (сл. 3.7б). Оваква конструкција се примењује како за предњу – управљачку осовину тако и за задњу – погонску. Код савремених возила се овакве конструкције мало примењују, тим пре што су доста скупе како за израду тако и за одржавање [5].



Слика 3.7 – Независно ослањање предње осовине са лиснатим опругама: а) са попречним лиснатим гибњем и попречним вођицама, б) са двоструким попречним лиснатим гибњевима [5]

Торзиони еластични елементи имају масовну примену код специјалних моторних возила компакне конструкције. Механизам је релативно једноставан, конструкција проста и компактна, али еластични елементи морају бити високог квалитета што за собом повлачи и високу цену коштања [5]. Ради илустрације на слици 3.8. приказано је конструктивно решење система за ослањање са торзионом опругом за возило Citroen Xsara Picasso (2000÷2010 године). Еластични елементи су дуги торзиони штапови уклештени на једном крају, обично преко ожљебљеног вратила, да би на другом крају били оптерећени силама преко лакат осовине или моментима торзије.



Слика 3.8 – Конструктивно решење система за ослањање са торзионом опругом за возило Citroen Xsara Picasso: 1 – флексибилне чауре, 2 – торзионе опруге, 3 – косо постављена вођица, 4 – амортизер, 5 – стабилизатор (Anti – roll bar) [11]

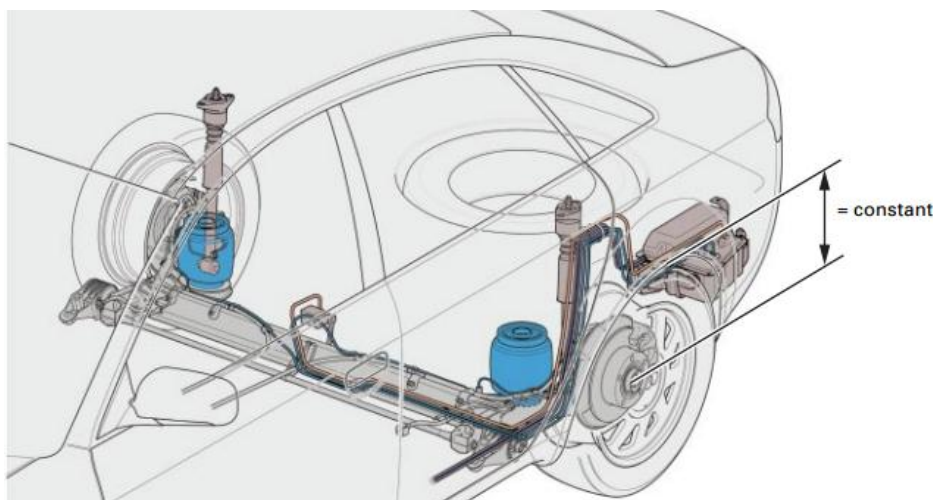
Идеја о примени пнеуматских опруга у конструкцијама СЕО потиче још из давних 50 – тих година 20 века. Прва оваква конструкција настаје 1953. године, када се врши њено свеобухватно испитивање на аутобусима. Од тада СЕО са пнеуматским опругама имају све већи значај. Предности које се остварују применом ових система дају им видно место у конструисању моторних возила. Те предности се манифестују у следећем:

- нелинеарна карактеристика еластичних елемената (пнеуматских јастука),
- прогресивна нелинеарност карактеристика,
- широке могућности подешавања висине ослоњене масе обзиром на статички угиб, чиме се повећава проходност,
- правилно вођење точкова, боља геометрија и већа стабилност аутомобила,
- дуг век експлоатационе употребе еластичних елемената, без губитка излазних карактеристика,
- смањење динамичког оптерећења конструкције ослоњене масе аутомобила и мање масе СЕО [1].

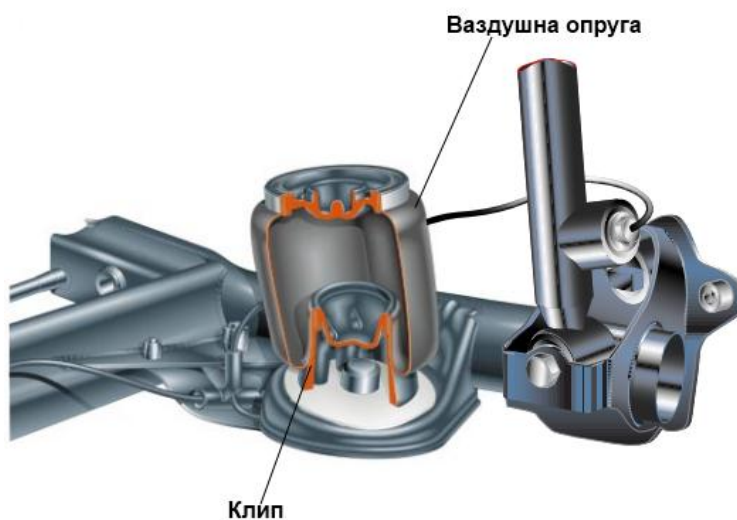
Поред предности, ови системи имају и своје слабе стране, као што су:

- велика сложеност, а што значи и већу цену коштања,
- неопходност употребе додатних механизма за вођење точкова и
- сложена технологија одржавања [1].

Да би се удовољило предностима које пружа систем пнеуматског ослањања аутомобила, он је у перманентном развоју и стално доживљава нове иновације у смислу бољег функционисања. Ови системи, због недостатака и потребе за ваздухом под притиском, немају ширу примену код путничких аутомобила, мада постоје покушаји у том правцу [1]. Ради илустрације, на слици 3.9. приказано је једно такво решење код путничког возила Audi A6, док је на слици 3.10 приказана изведба гасне опруге на истом возилу. Уз електронску контролу постављањем сензора за контролу притиска у гасној опрузи и других сензорима, као и регулацијом нивоа овај систем се може реализовати као активно СЕО о чему ће бити речи у наставку.



Слика 3.9 – Пнеуматско ослањање код путничког возила Audi A6 [12]

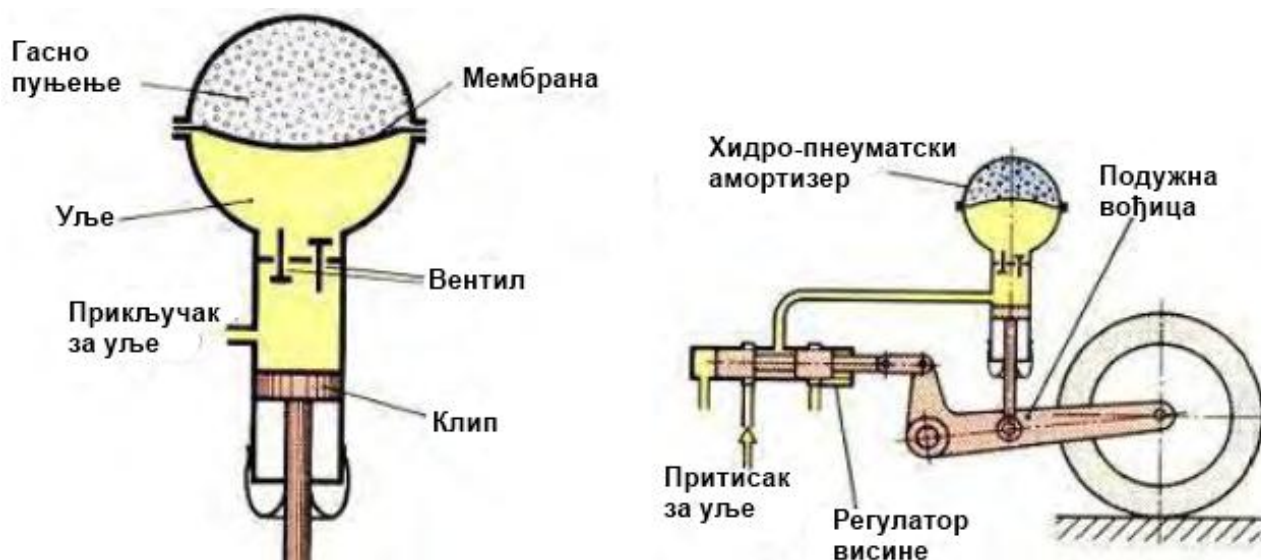


Слика 3.10 – Изведба гасне опруге код путничког возила Audi A6 [12]

Ваздушно ослањање аутомобила VW Touareg скоро потпуно апсорбује све ударе настале од неравнина на путу. Захваљујући избору режима вожње „COMFORT“, „NORMAL“ и „SPORT“, као и сензорима за регулисање и динамичко подешавање амортизера, возило успева да савлада скоро сваку неравнину. Аутоматска регулација нивоа омогућава при том прилагођавање на најразличитије ситуације у вожњи. На тај начин је могуће добити још 300 mm одстојања од тла за екстремну теренску вожњу, а могуће и је савладавање водене препреке дубине до 580 mm [6]. На слици 3.11 приказано је ваздушно ослањање код возила VW Touareg.

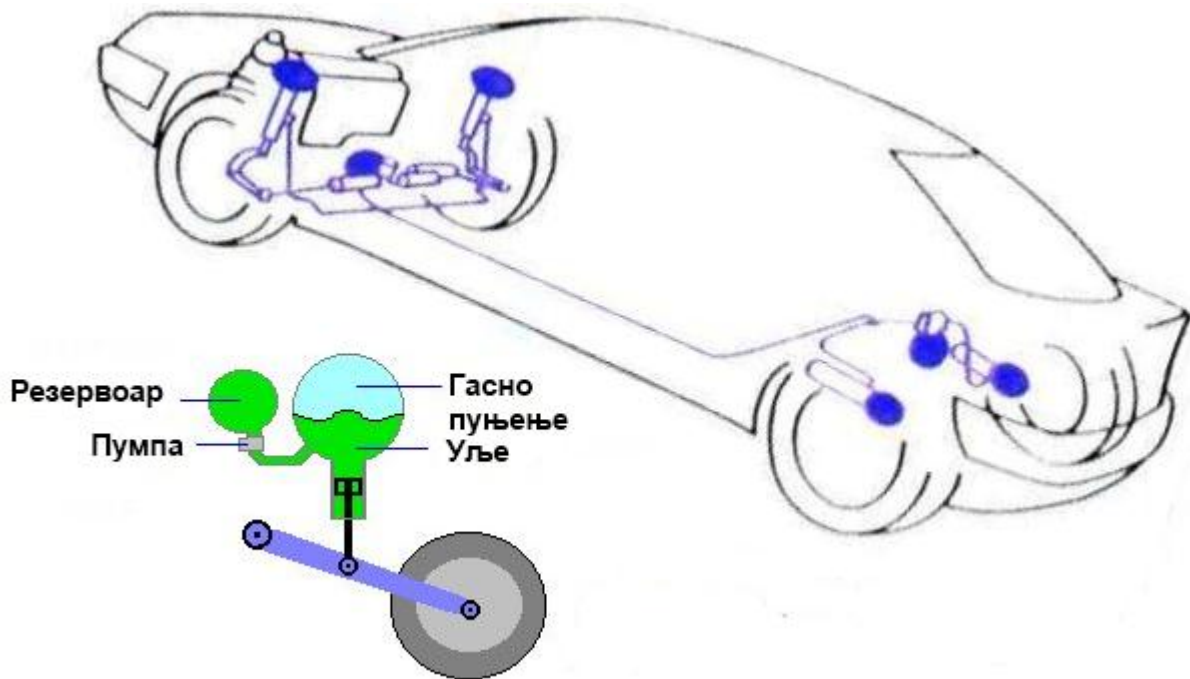


Слика 3.11 – Ваздушно ослањање возила VW Touareg [6]



Слика 3.12 – Системско решења уградње хидро – пнеуматских елемената на путничка возила [5]

Хидро – пнеуматски еластични елементи могу бити различите конструкције и уградње. На слици 3.12 показана су системска решења уградње ових елемената на путничка возила. Механизми хидро – пнеуматског ослањања имају своју перспективу код аутомобила, потпуно аналогну оној коју има пнеуматско ослањање код теретних возила и аутобуса. Овакав систем ослањања најчешће је примењиван као полуактивни и активни СЕО који ће такође у наставку рада бити анализира [5]. На слици 3.13 приказано је хидро – пнеуматско ослањање код путничког возила CitroenXantia.



Слика 3.13 – Хидро – пнеуматско ослањање ко путничког возила CitroenXantia [13]

4. Полуактивни системи еластичног ослањања

Полуактивни СЕО омогућавају адаптацију пригушних карактеристика амортизера на промену оптерећења точка и дефлексију – угиб СЕО, нпр. активна папучица гаса. Основна идеја полуактивног система ослањања је адаптација параметара амортизера или опруга каросерије возила на тренутне услове пута и одговарајућу ситуацију у вожњи. Ово се постиже уградивим процесором, који индицира да се електроника, механика и софтвер истовремено разматрају. Потребно је подизати, односно, спуштати тачкове и на тај начин минимизирати вертикално кретање возила. Безбедност током вожње је угрожена због неравнина на путу које узрокују вибрације тачкова и возила [1].

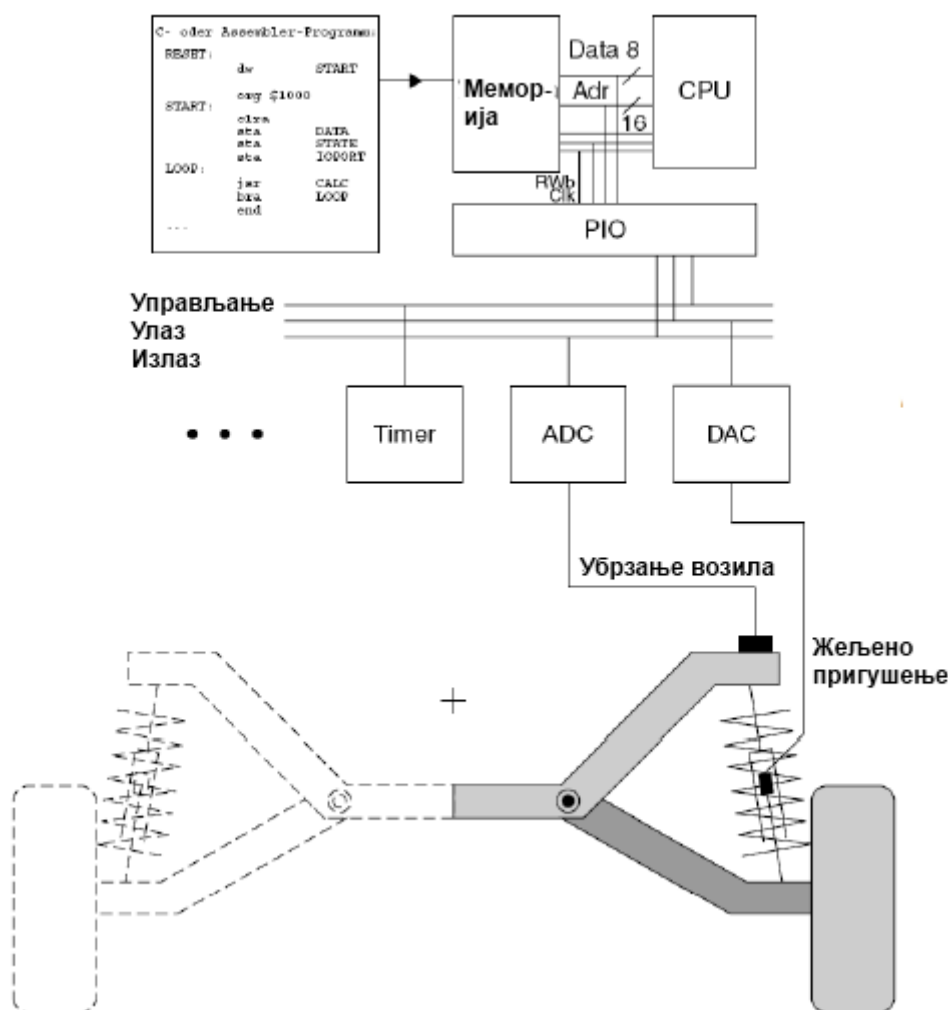
Неопходно је обезбедити задовољавајуће пригушење вибрација (резонанце). Вибрације снажно утичу на повећање оптерећења точка. Ово оптерећење ће се смањити услед подизања тачкова. На овај начин трење између тачкова и пута, односно дејство силе точка према путу пада на нулу, што може довести до проблема када се возило налази у кривини. Ови проблеми се могу избећи повећањем пригушења (велики износ). Међутим то повећање пригушења доводи до негативних ефеката на комфор у вожњи, јер ће се утицај неравнина директно преносити на возило, а самим тим и на путнике.

Ово је посебно изражено за вибрације у подручју $4\div 8$ Hz, које су непријатне или се манифестују неудобном (некомфорном) вожњом. Главни задатак је да се пронађе компромис између безбедности вожње и комфора у вожњи [8].

Полуактивни систем ослањања се темељи на принципу пригушења вибрација условљених неравнинама пута, које може бити мењано на одговарајући начин током вожње. Проблематичне ситуације у вожњи захтевају висок ниво пригушења, која се прво препознаје разматрањем вертикалног убрзања каросерије возила, из којег се пригушењем ове вибрације са пута могу редуковати.

Додатно, маневри током вожње, који такође захтевају повећање стабилности, се аутоматски препознају, као на пример нагло кочење, брза вожња у кривини или брзо притискање папучице гаса. Резултујуће понирање и ваљање возила треба бити лимитирано већим пригушивањем. Након идентификације услова пута и стања вожње, следећи корак је утврђивање исправне дужине пригушења и постављање њене вредности на амортизер.

На слици 4.1 приказана је блок шема полуактивног ослањања, на којој су приказане мехатроничке и електронске компоненте система, које се састоје од: дигиталног контролера, амортизера који је централни елемент система, електронске компоненте А/Д и Д/А за претварање једносмерне струје у наизменичну и обратно.

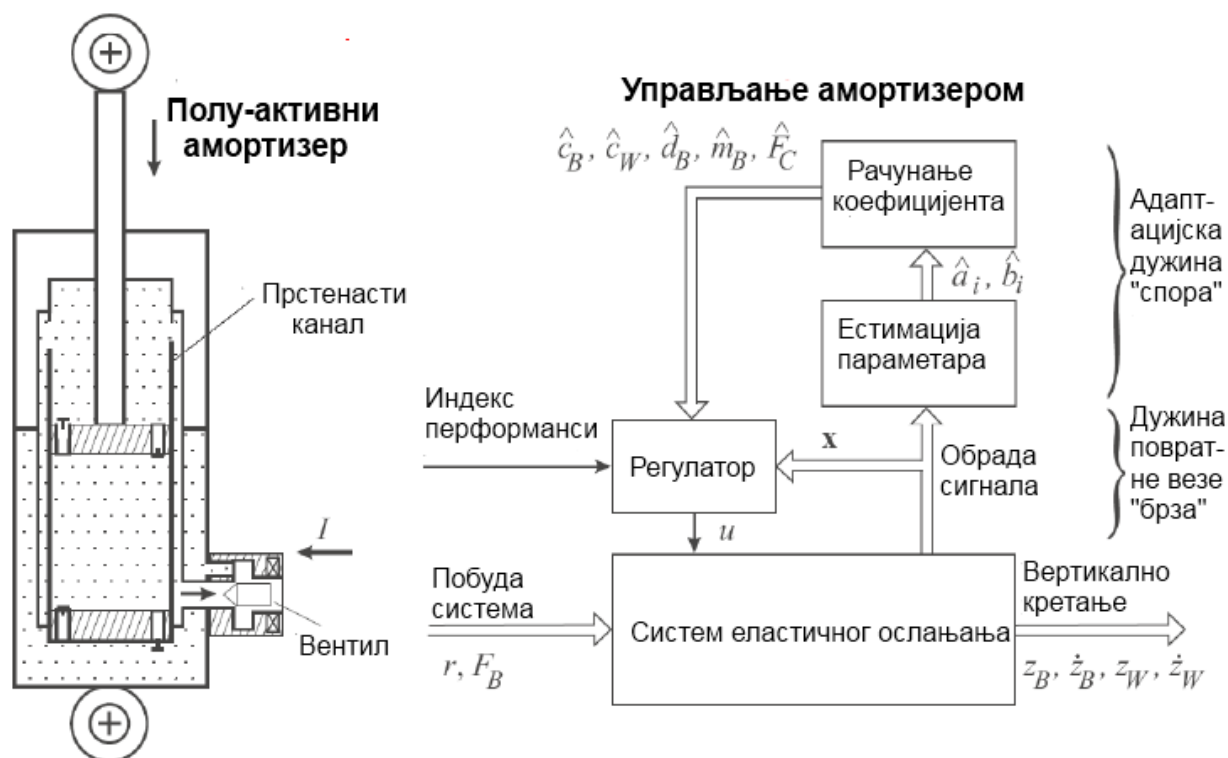


Слика 4.1 – Блок шема мехатроничких и електронских компоненти полу – активног система ослањања [7]

Амортизер користи Стоксово трење вискозне течности, на пример хидрауличног уља, да би претворио енергију кретања у топлоту. Уље се сабија кроз уски вентил у складу са кретањем точка, односно возила. Ако се управља путањом уља у складу са смером протока, тада се различити пречници вентила, односно различите константе пригушења, могу постићи за компресију и напрезање. Осим тога, неколико карактеристичних линија пригушења се може планирати за одговарајући амортизер [7].

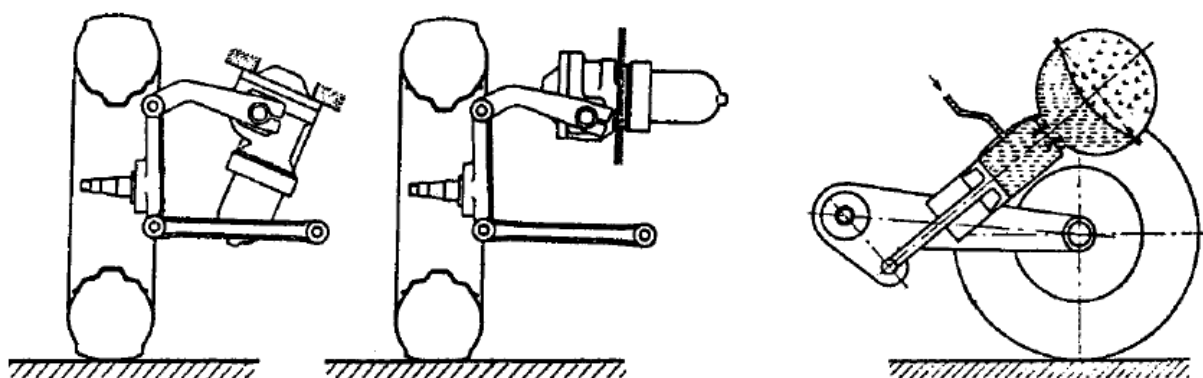
Коришћењем вентила у облику ротирајућег диска, путања хидрауличног уља је одређена на начин да уље пролази кроз различите вентиле. Потрошња енергије је стога ограничена јер се само вентил са ротирајућим диском може користити. Типична времена кашњења за подешавање карактеристичне линије износе око 20 ms [7].

Нове могућности се појављују са применом електро – реолошких флуида. На слици 4.2 су приказани полуактивни амортизер и његово управљање. Управљање се састоји од класичне регулационе петље (брза петља) и адаптацијске петље (спора петља) којом се прерачунавају параметри регулатора услед промена у систему.

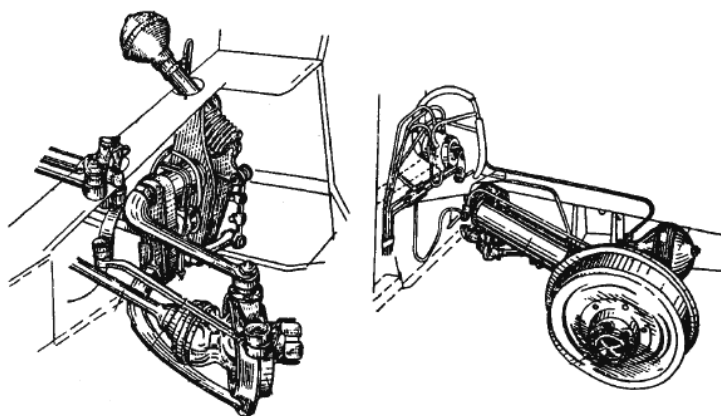


Слика 4.2 – Полуактивни амортизер и његово ослањање [7]

Полуактивни пригушивач 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 пригушивач или опруга изискују мању снагу за њихово функционисање. То је један од основних разлога због којих је систем препоручљивији од активног. Утолико пре, јер су резултати добијени са полуактивне задовољавајући и указују на то да се они сасвим добро, по карактеристикама, приближавају активним СЕО [1,7].



Слика 4.3 – Системско решење уградње хидропнеуматски еластичних елемената на путничко возило [1]



Слика 4.4 – Конструктивно решење полуактивног система за ослањање код возила Citroen [1]

У овом случају опруге представљају комбинацију ваздушних и хидрауличких компонената. Хидропнеуматски еластични елементи могу бити различите конструкције и уградње. На слици 4.3 су приказана системска решења уградње ових елемената на путничке аутомобиле. На слици 4.4 је показано конструктивно решење уградње хидро пнеуматских еластичних елемената на аутомобилу Citroen и то на предњој погонској и задњој осовини. Еластични елементи (позиција 1) чврсто су везани за ослоњени део масе, а клипњаче и цилиндри преко полужног механизма за балансирајућу осовину неослоњене масе аутомобила [1].

Сопствена фреквенција возила зависи од крутости опруге и оптерећења. Уколико се жели да се сопствена фреквенција одржи на одређеном (погодном) нивоу, неопходно је да се при промени оптерећења мења и вредност крутости опруге. Жеља да се, при различитим оптерећењима сваког возила, сопствена фреквенција одржи у пожељним границама, има за последицу, као што знамо, настанак различитих комбинација система за ослањање са еластичним елементима променљивих карактеристика. Посебно треба скренути пажњу да су осцилације возила и његово сложено динамичко понашање проузроковане, углавном, дејством неравнина тла, мада не треба занемарити и друге узроке: утицај околине, утицај возача, утицај кочења и убрзања возила, кретање у кривини, неуравнотеженост рада мотора, деформације пнеуматика, итд [1].

Полуактивни системи за ослањање су анализирани у овом поглављу, пошто су по својим карактеристикама знатно ближи активним, него пасивним системима. Они задржавају опружне и пригушне елементе, чија својства могу бити мењана преко спољне контроле. Сигнал или спољна сила снабдева овај систем у циљу промене карактеристика. Овај процес контролише рачунар, мада он нема баш једнак степен контроле као код потпуно активног ослањања. Показало се међутим у пракси, да је овај вид ослањања скоро једнако ефикасан као и потпуно активни, па га чешће можемо наћи на данашњим возилима пошто захтева мању снагу и знатно је једноставнији.

Постоји неколико врста полуактивних система:

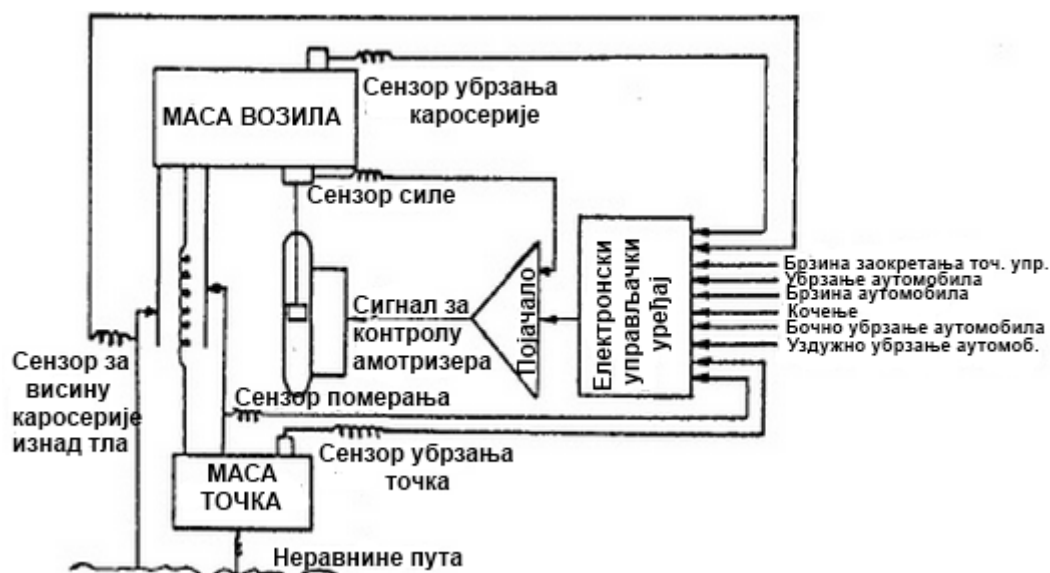
а) **Дисипативни полуактивни систем** (сл. 4.5) – Код овог система може континуално да се мења количина енергије која се расипа (пригушује) – променом отвора у

пригушивачу. За промену количине енергије која се расипа потребна је минимална спољна енергија. Да би се код полуактивног система ослањања остварила жељена стратегија аутоматског управљања системом потребне су две групе сензора како би се добиле потребне информације [1]. Прву групу чине сензори за добијање информација о кретању возила:

- сензори за брзину окретања возила,
- сензори за кочење возила – активирање педале кочнице,
- сензори за убрзање возила – преко мерења положаја и брзине активирања педале гаса,
- сензори за брзину возила – преко мерења броја обртаја излазног вратила мењача,
- сензори за бочно и подужно убрзање – помоћу давача постављених у тежишту возила.

При избору и постављању сензора ове групе, боље је прикупљати информације о акцијама возача при маневру, него одговор возила на маневар, тиме се остварује брже добијање информација. Другу групу чине сензори за добијање информација о кретањима која утичу на комфор, а то су осцилаторна кретања еластично и нееластично ослоњених маса:

- сензори за релативно померање точкова у односу на каросерију,
- сензори за вертикално убрзање тела изнад сваког точка,
- сензори за вертикално убрзање точкова, и
- сензори за висину каросерије изнад тла на сва четири угла возила [8].



Слика 4.5 – Блок шема полуактивног SEO [8]

б) **Споро – активни систем** – Садржи актуатор редно повезан са опругом. Актуатор може да буде базиран на хидрауличким или електричним компонентама (у новије време имамо и многобројна другачија решења), а фреквентна област му је око 3 Hz. На овом месту, важно је скренути пажњу на чињеницу да је човек најосетљивији на деловање вертикалних вибрација учестаности 4÷8 Hz (према ISO 2631), као и на

учестаности ниже од 1 Hz. Због тога, при пројектовању система ослањања треба избегавати ове учестаности [1].

Карактеристика пригушења система за ослањање или крутост опруге може се пребацивати између неколико дискретних нивоа као одговор на промену услова вожње. Притисак у систему за кочење, угао у систему за управљање или ход система за ослањање су обично коришћени да изазову контролне промене при вишим нивоима пригушења или крутости. Пребацивање се дешава у делићу секунде, чиме се систему даје способност да контролише угаоне компоненте вибрација ослоњених маса око x – осе и око y – осе, као и транслаторно компоненте вибрација ослоњених маса у правцу z – осе, под тежим условима маневрисања и при лошијем путу. Међутим, враћање на “мекшу” регулацију дешава се тек након застоја у времену. На овај начин, систем се не прилагођава континуирано током појединачних циклуса осциловања возила [1].

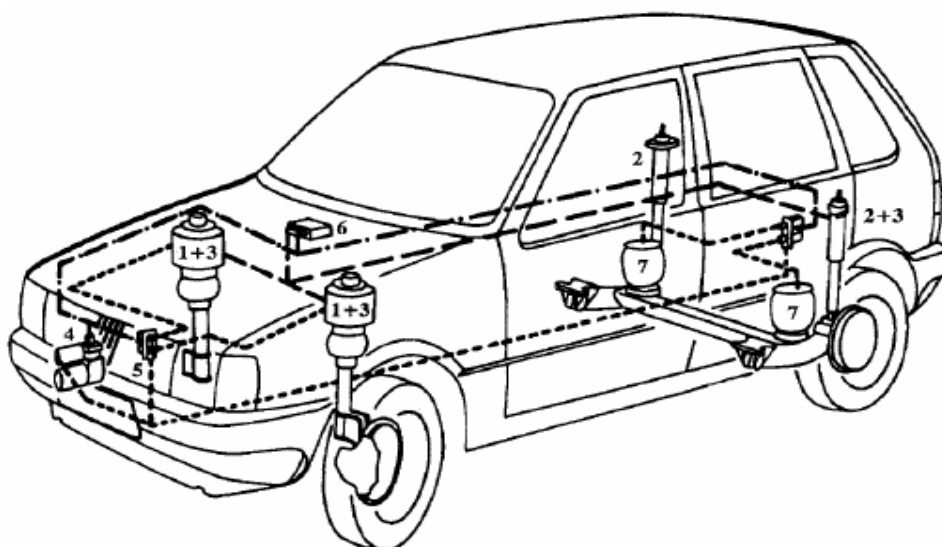
в) **Са нискофреквентним радним опсегом** – Крутост опруге и слабљење се непрекидно модулирају као одговор на нискофреквентно кретање ослоњене масе ($1\div 3$, Hz) [1].

г) **Са високофреквентним радним опсегом** – Крутост опруге или слабљење се непрекидно модулирају као одговор на нискофреквентно кретање ослоњене масе ($1\div 3$, Hz) и високо фреквентно кретање неослоњених маса ($10\div 15$ Hz) [1].

д) **Адаптивни** – Код њих се параметри система аутоматски подешавају у зависности од услова експлоатације, чиме је омогућено да се параметри опруга и пригушења бирају у зависности од врсте пута [1].

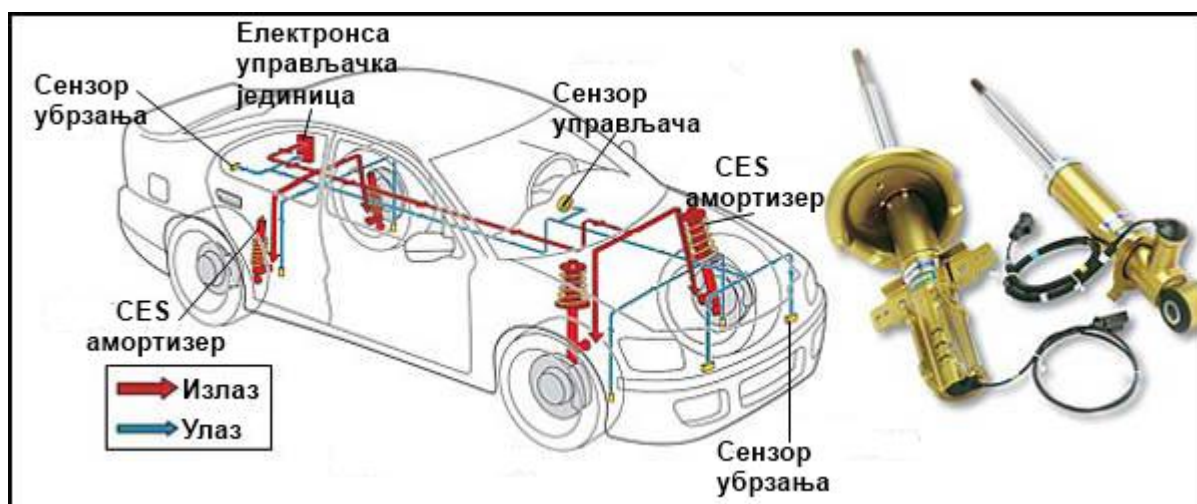
4.1. Примена полуактивног ослањања на савременим возилима

У пракси постоји више решења, а ради илустрације, на слици 4.6 приказан је полуактивни СЕО аутомобила Uno – Монрое, код кога се регулација врши променом карактеристика ваздушних опруга. Приказани систем врши самонивелацију каросерије после 45 секунди, а активира се после 3 секунде 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.

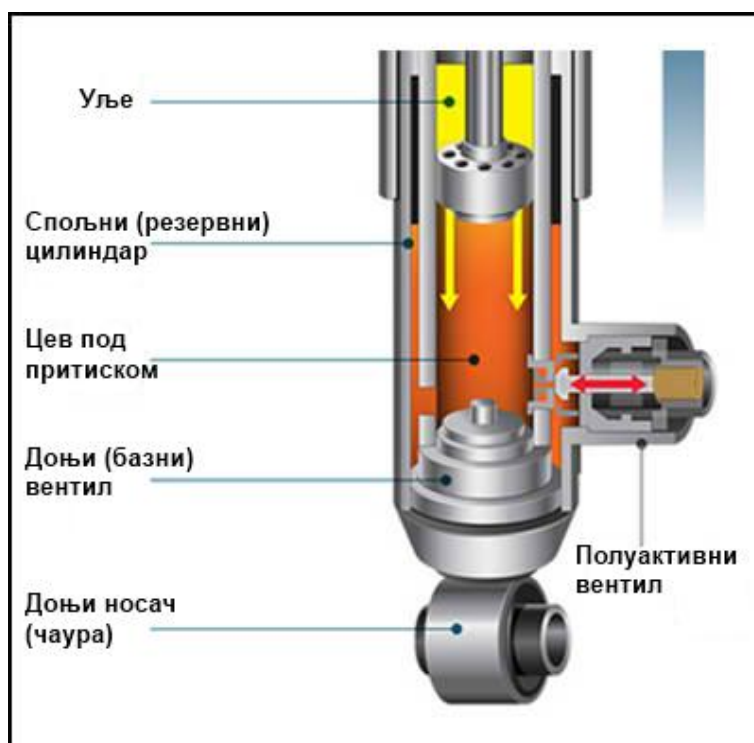


Слика 4.6 – Полуактивно ослањање путничког возила Uno – Монрое: 1 – предњи систем за ослањање са интегрисаном ваздушном опругом и амортизером, 2 – задњи амортизери, 3 – сензори нивоа, 4 – електрични компресор, 5 – електроventили, 6 – ваздушни водови, 7 – задње ваздушне опруге [1]

Иако полуактивни СЕО заостају по својим карактеристикама у односу на активне системе, произвођачи често за ново возило бирају полуактивни систем, јер су мање захтевни у фази развоја, а пружају и могућност унапређења, врло често се користи компромисно алтернативно решење између пасивних и активних система. На пример, полуактивни систем електронски контролисано континуирано ослањање (CES – *Continuously Controlled Electronic Suspension*) је уведен пре неколико година, сада се може надоградити на напредније потпуно активно ослањање. На слици 4.7 је приказано полуактивноелектронски контролисано ослањање, док је на слици 4.8 приказан полуактивни амортизер овог система ослањања.



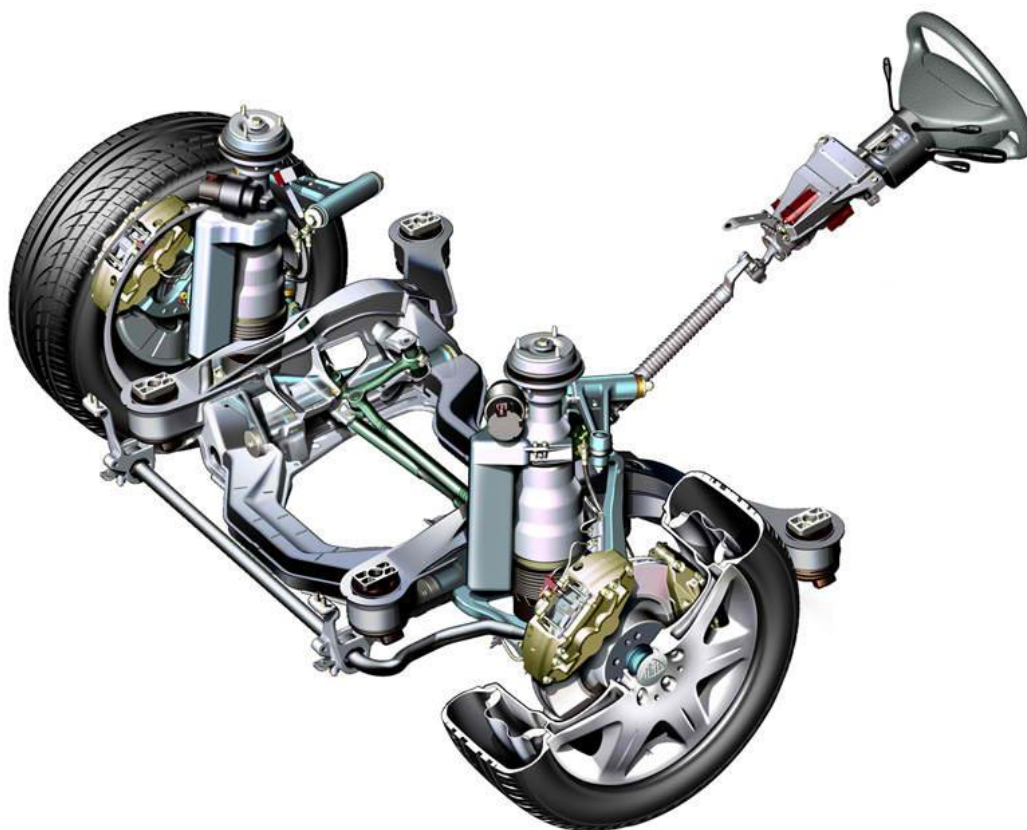
Слика 4.7 – Полуактивноелектронски контролисано ослањање CES система ослањања [14]



Слика 4.8 – Електронски контролисан амортизер CESCистема ослањања [14]

Полуактивно ослањање са адаптивним пригушењем примењује се код возила високе класе реномираног произвођача Mercedes – Benz. Све компоненте ослањања за сва четири точка су направљене од чврстог и лаког алуминијума, тип ослањања је мултилинк (Multilink) Полуактивним адаптивним систем пригушења непрекидно се прилагођава вожњи апсорбујући ударе настале од неравнина пута, а може да одговори на сваки точак за само 10 милисекунди (ms) и олакша управљање, док вожња остаје стабилна и комфорна [6]. Овај тип полуактивног ослањања примењен је код возила Mercedes – Benz SL550.

Полуактивно пнеуматско ослањање истог произвођача „Airmatic” нуди побољшану оперативну сигурност и смањује буку пнеуматика и вибрације у поређењу са пасивним CEO са металном опругом. Електронски контролисано полуактивно „Airmatic” ваздушно ослањање функционише потпуно аутоматски. Систем електронике подешава ваздушне опруге, што их чини чвршћим или мекшим у зависности од отпора пута. Ако, на пример, сензори региструју „спортски“ – динамичнији стил вожње, мекше „удобно“ ослањање се аутоматски искључи. Систем ослањања и пригушења може се подесити ручно у два типа спортски/удобно помоћу прекидача. Систем електронике користи четири различита нивоа подешености амортизера и аутоматски одређује силу пригушења за сваки точак према актуелним оптерећењима и условима пута. Возачи такође могу ручно повећати висину возила на лошим путевима. Систем ће аутоматски подесити висину на нормалан ниво у току вожње у зависности од брзине кретања и неравнина пута [15]. На слици 4.9 приказано је Mercedes – Benz „Airmatic” предње полуактивно пнеуматско ослањање.

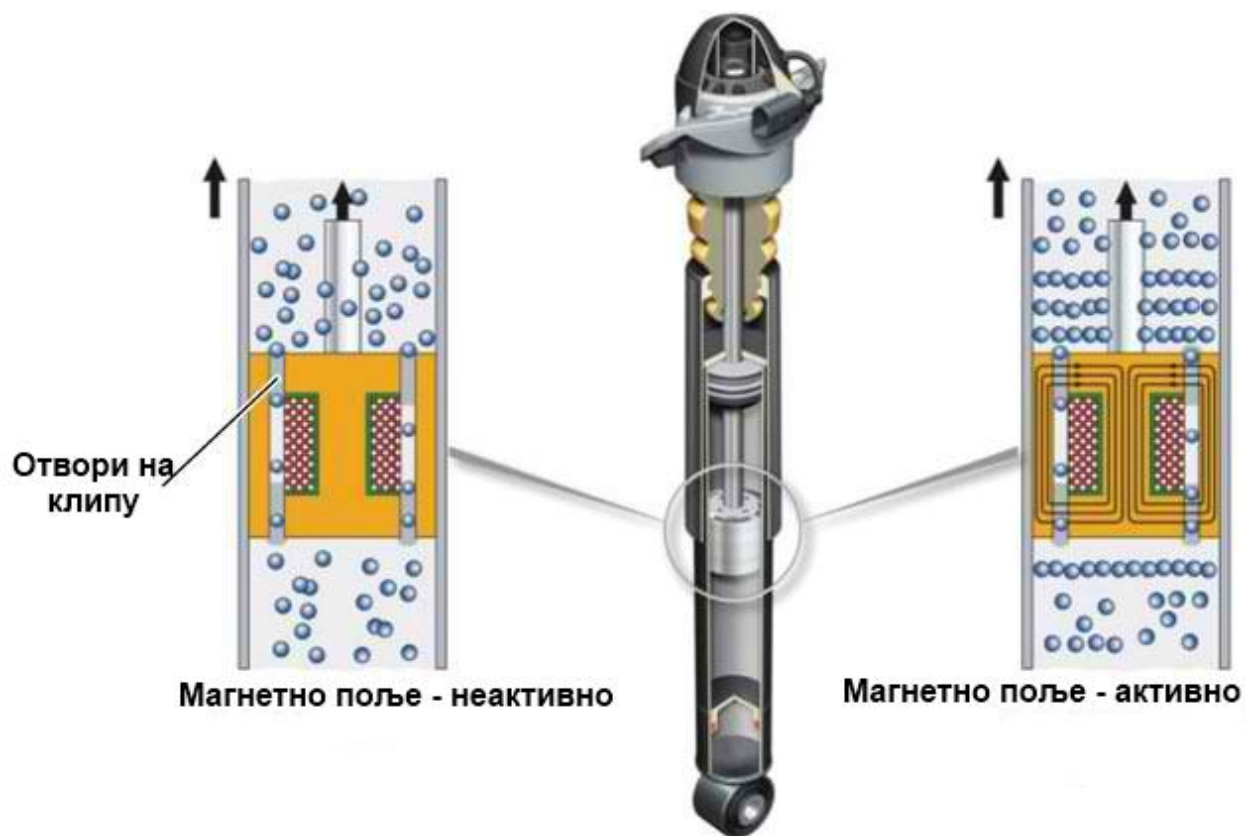


Слика 4.9 – Mercedes – Benz „Airmatic” предње полуактивно пнеуматско ослањање [15]

Код произвођача Audi у појединим моделима аутомобила користи се потпуно нови облик пригушења осцилација, технологија је развијена у сарадњи са такође познатом фирмом Delphi. Полуактивни систем ослањања непрекидно прилагођава пригушујуће карактеристике у односу на профил пута и реаговање возача на команде у аутомобилу за само неколико милисекунди (ms). Овај систем ослањања најзаступљенији је на возилу Audi TT (сл. 4.10), који иначе припада спортским аутомобилима, где се морало наћи компромисно решење између динамичне вожње и удобности. Једно од савременијих решења код еластичних елемената је магнетно пригушивање. У магнетним амортизерима се не налази уље као у конвенционалним амортизерима. Ови амортизери су пуњени магнетно – теолошка течност која је синтетичко уље које садржи магнетне честице. Када се на намотаје унутар клипа амортизера пусти напон ствара се магнетно поље, а честице се помере тако да су позициониране нормално у односу на ток флуида кроз отворе клипа и тако стварају отпор течењу флуида. Због већег отпора течењу флуида се отежава померање клипа и тако се укрупњује систем ослањања [16]. На слици 4.11 је приказан магнетни амортизер код возила Audi TT.



Слика 4.10 – Полуактивни СЕО на возилу Audi TT [16]



Слика 4.11 – Магнетни амортизер код возила Audi TT [16]

4.2. Амортизери код полуактивног СЕО и њихова пригушујућа својства

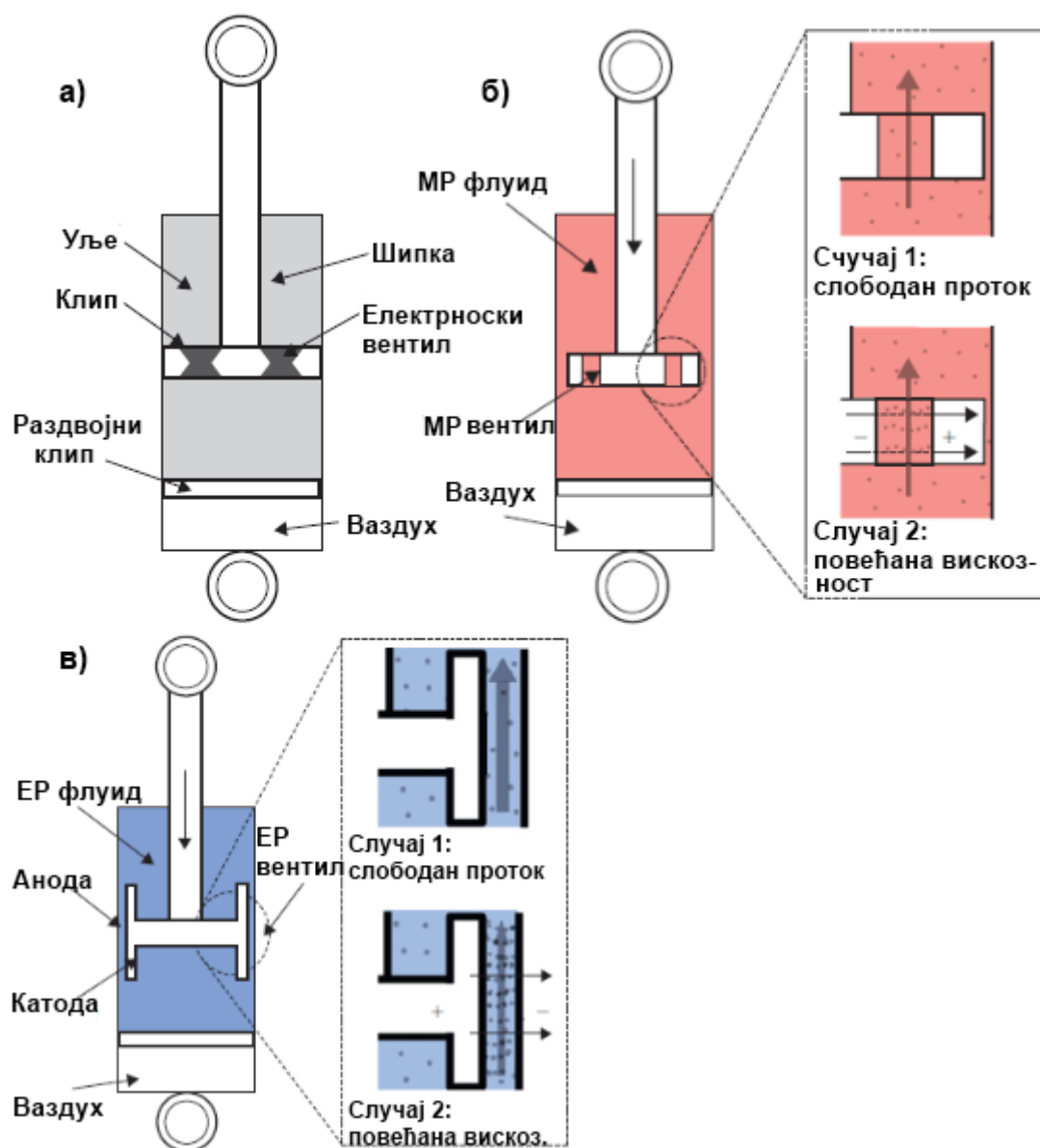
Многе врсте возила су опремљене (или се опремају) полуактивним системом ослањања. Списак је дугачак и континуирано расте. Таква возила су у распону од малих возила као што су мотоцикли, АТВ, моторне санке до великих као што су трактори, радне машине, аутомобили и теретна возила, аутобуси, возила хитне помоћи, ватрогасна возила, итд.

Ако сагледамо полуактивне амортизере, данас су доступне три главне врсте ових амортизера, које омогућавају брзо реаговање и електронску контролу пригушења амортизера. На слици 4.12 приказани су следећи амортизери полуактивног ослањања, с лева на десно: Електро – хидраулички амортизер (Sachs) који због електромагнетних вентила који се налазе унутар или изван амортизера мењају однос пригушења мењајући величину отвора; Магнето – реолошки(Delphi) на бази течности која може да мења вискозност када је изложена магнетном пољу; Електро – реолошки(Fludicon) на бази течности која може да мења вискозност када је изложена електричном пољу [2]. На слици 4.13 шематски су приказана ова три амортизера.



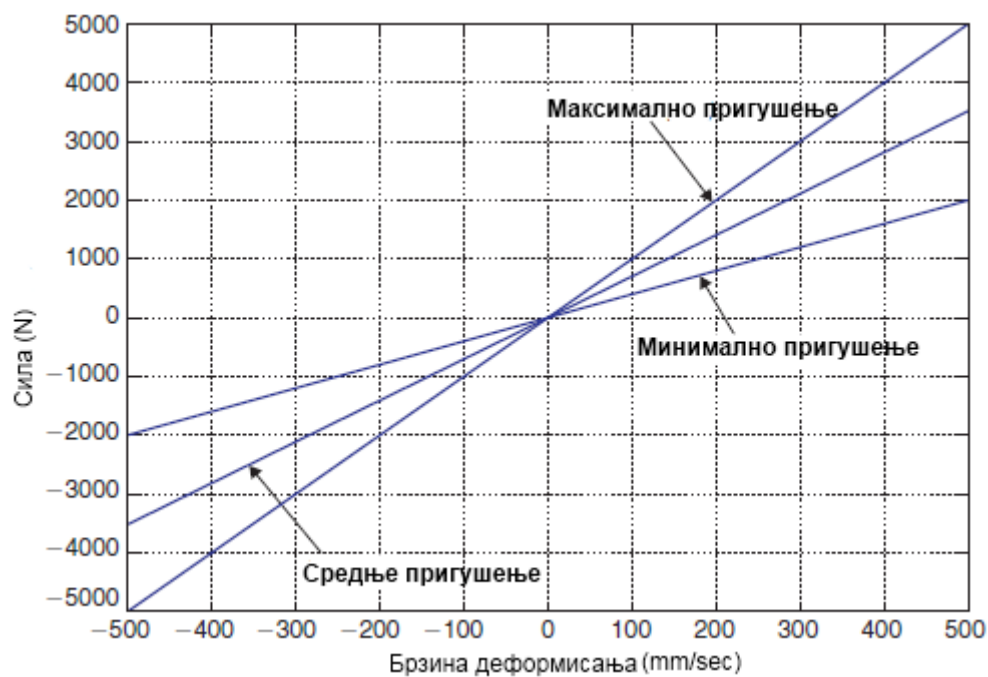
Слика 4.12 – Полуактивни амортизери, с лева на десно: електро – хидраулички амортизер (Sachs), магнетно – реолошки(Delphi), електро – реолошки(Fludicon) [2]

У магнетно – реолошком (МР) амортизеру (концептуално представљен на сл. 4.13б) клип укључује калеме (намотаје) који су способни да остваре магнетно поље у отворима. У том случају, клип се може посматрати као "магнетно – реолошки вентил" и пригушење је резултат трења између течности и отвора. Електро – реолошки (ЕР) амортизер концептуално приказан на слици 4.13в, може се сматрати као „електрични кондензатор“, спољно тело клипа је анода, а унутрашње катода. Електрично поље (Е) се појављује у простору између клипа и тела. Да би добили потребну снагу, површина клипа је релативно велика. Минимални ниво пригушења је обично већи код МР амортизера. С друге стране, ефекат трења је мање штетан и ЕР флуиди су мање агресивни [2].

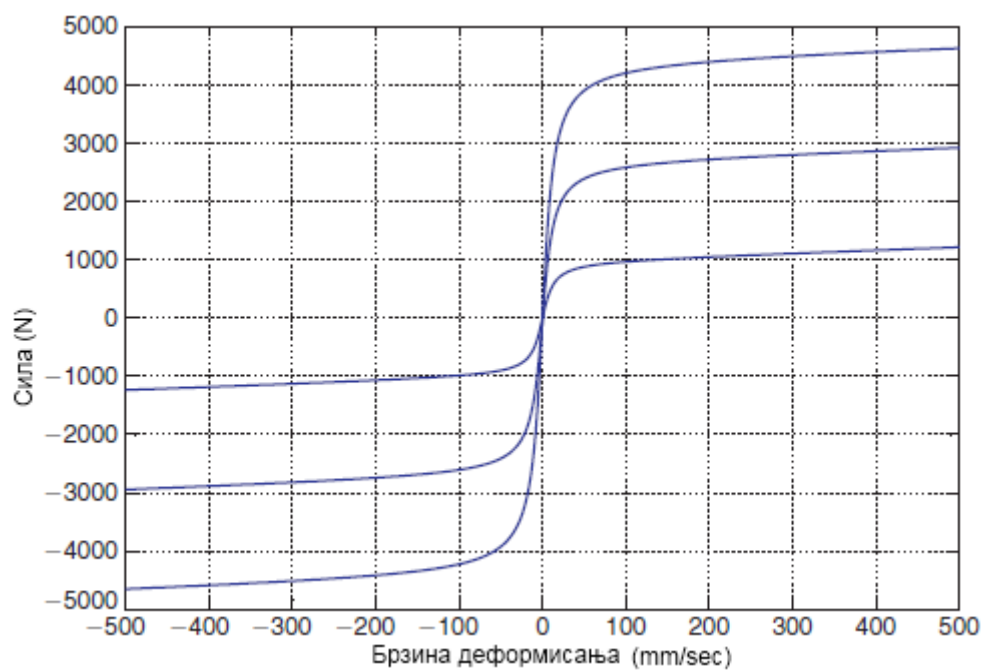


Слика 4.13 – Шематски приказ полуактивних амортизера: а) електро – хидраулички амортизер, б) магнетно – реолошки (MR) в) амортизер, електро – реолошки (ER) амортизер [2]

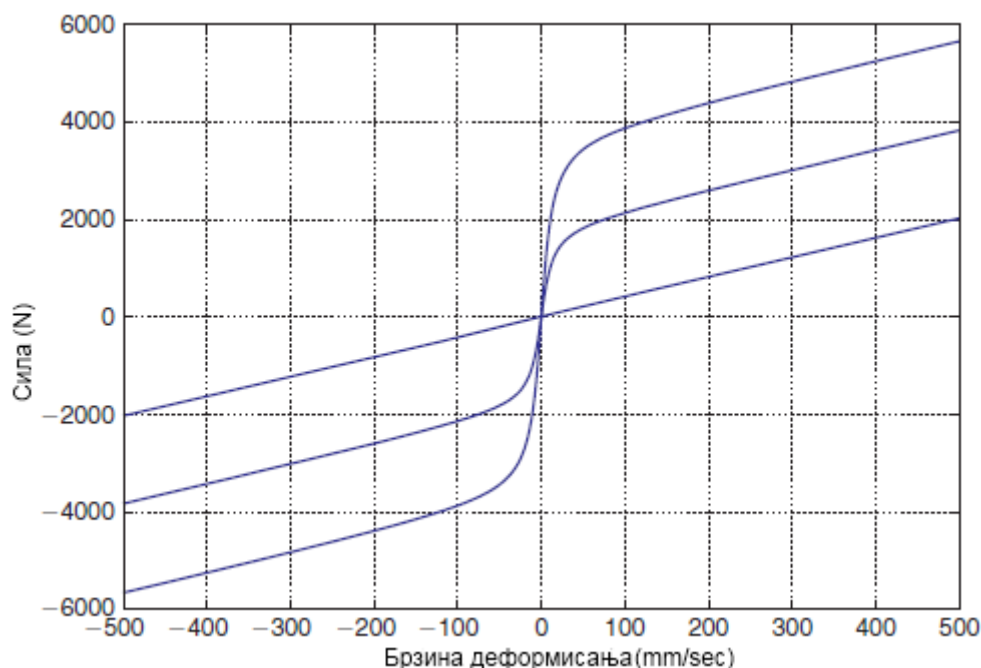
Идеалне карактеристике пригушења ова три полуактивна амортизера (са незнатним трењем) графички су приказане на сликама 4.14, 4.15 и 4.16. На дијаграму су приказана три случаја пригушења када возило наилази на неравнину пута: минимално, средње и максимално пригушење. На дијаграмима је приказана брзина деформисања (mm/sec) унутар амортизера (савијање) у зависности од силе која на њега делује (N).



Слика 4.14 – Идеалне карактеристике пригушења електро – хидрауличног амортизера (са незнатним трењем) [2]



Слика 4.15 – Идеалне карактеристике пригушења магнетно – реолошког амортизера [2]



Слика 4.16 – Идеалне карактеристике пригушења електро – реолошког амортизера [2]

Крај 20. и почетак 21. века одликује убрзани развој електричних аутомобила. Загађење, ефекат стаклене баште, и недостатак фосилних горива повећао је интересовање за аутомобиле који користе неки вид електричне енергије, али су ти аутомобили ограниченог домета кретања. Потпуно нова технологија возила се појављује код савремених возила, где су сви основни елементи налазе у точку: главни електромотор (електронски контролисан), електро – механичка кочница, систем ослањања (електронски контролисан), као и електро – механичко управљање (евентуално). Примере ове нове технологије недавно су представили Michelin и Siemens (слика 4.17). Занимљиво је да ће полуактивни СЕО имати важну улогу код овог начина ослањања и управљања возилом, јер због релативно великих маса опруге неопходно је наћи компромис између комфора и стабилности управљања [2].



Слика 4.17 – Примери „full – corner“ технологије активног точка, произвођача Michelin (лево) и Siemens (десно) [2]

4.3. Пример моделирања полуактивног СЕО

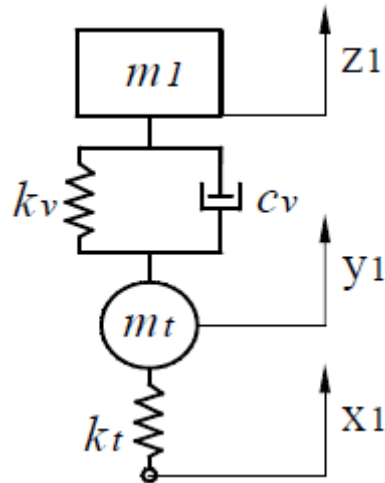
Користећи модел ослоњене масе на слици. 4.18 могу се симулирати радне карактеристике СЕО. Код оваквог модела важан утицај имају ослоњена m_s и неослоњена маса m_u . Постоје две главне категорије поремећаја које утичу на возило током вожње: поремећаји пута и оптерећења. Поремећаји се одликују ниским фреквенцијама (веће неравнине пута) и високим фреквенцијама (храпавост пута).

Поремећаји се појављују када возило под оптерећењем убрзава, кочи или скреће. Добар СЕО мора да буде „мек“ и апсорбује поремећаје настале током вожње у саобраћају, али и „тврђ“ како би се апсорбовали поремећаји настали услед оптерећења возила. Тако да конструктор СЕО мора направити компромис између стабилности и удобности. СЕО који има велико пригушење константно обезбеђује добру стабилност, вођење точкова у контакту са путем, али ће пренети велики број вибрација пута на путнике, узрокујући непријатну вожњу. С друге стране, СЕО са амортизерима који имају константо ниско пригушење обезбедиће већу удобност путника, али и смањити стабилност возила.

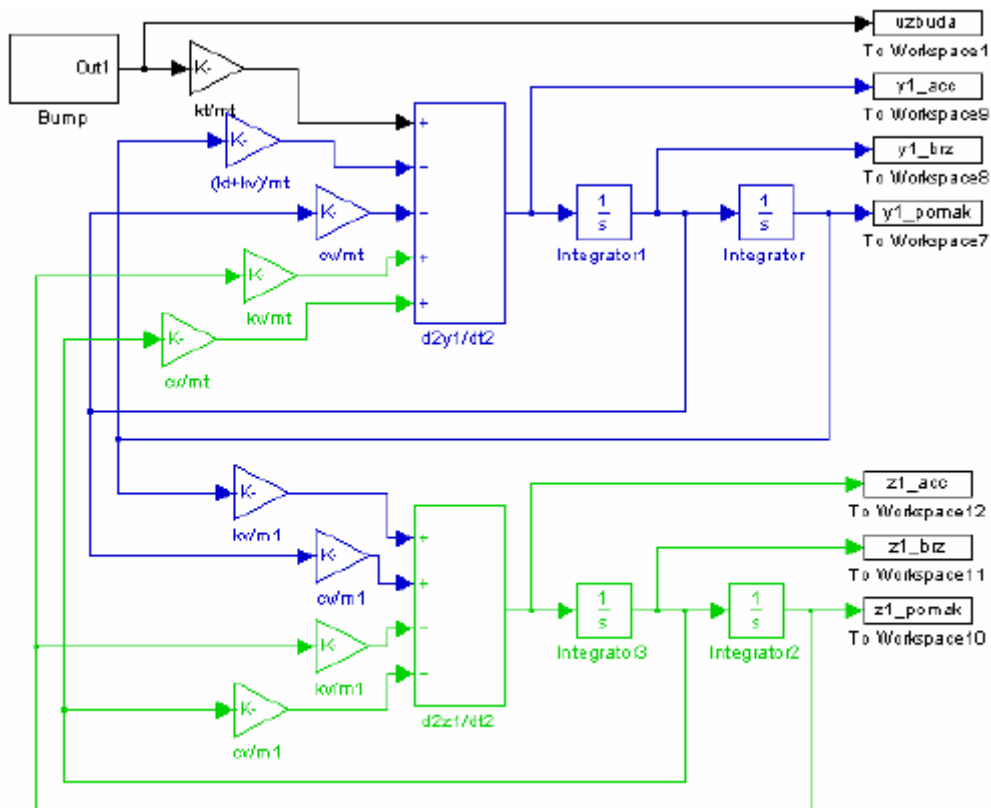
Силе које делују на СЕО или унутар њега могу се контролисати на активан начин помоћу сензора који шаљу повратне информације. При симулирању оптерећења СЕО користи се осцилаторни модел који представља $\frac{1}{4}$ масе возила, тј. један точак (слика 4.18) Упркос својој једноставности, модел $\frac{1}{4}$ аутомобила покрива основне особине СЕО.

Димензије стандардних препрека на путу за смањење брзине вожње могу се поделити на вибрационе траке и принудне успориваче – „лежеће полицајце“. Вибрационе траке су препреке које при прелазу возила производе веће вибрацијске и звучне ефекте те на време упозоравају возача да смањи брзину. Постављају се преко целе ширине коловоза на међусобном размаку од 8 m до 22 m у зависности ограничењу брзине вожње (30÷80 km/h). Њихова ширина по правилу је од 200 до 400 mm, а висина 18 mm до 25 mm. Принудни успоривачи су грађевински елементи чије су размере такође дефинисане у зависности од ограничења брзине (нпр. за ограничење брзину вожње на 50 km/h ширина путне избочине не сме бити мања од 600 mm, а висина не сме прелазити 30 mm) [18].

За моделирање вибрационе траке користи се Simulink блок „signal generator“ (слика 4.19) који производи импулсну побуду амплитуде која одговара висини траке, те је трајања импулса једнако времену потребном да аутомобил пређе преко траке. Принудни успоривач је избочина која се моделира у истом математичком програму моделирана у склопу блока „fromworkspace“ [18].



Слика 4.18 – Модел са два степена слободe (m_1 – ослоњена маса возила (1/4 каросерије), m_2 – неослоњена маса возила (точка), k_v – еквивалентна крутост (каросерије), k_t – еквивалентна крутост (точка), c_v – коефицијент пригушења, z_1 – вертикална вибрација ослоњене масе и одговарајуће брзине, y_1 – вертикална вибрација неослоњене масе и одговарајуће брзине, x_1 – случајна функција побуде пута и њене брзине) [18]



Слика 4.19 – Шема модела у Simulink – y [18]

Модел описују следеће једначине система ослањања [18]:

$$m_1 \ddot{z}_1 + c_v(\dot{z}_1 - \dot{y}_1) + k_v(z_1 - y_1) = 0 \quad (4.1)$$

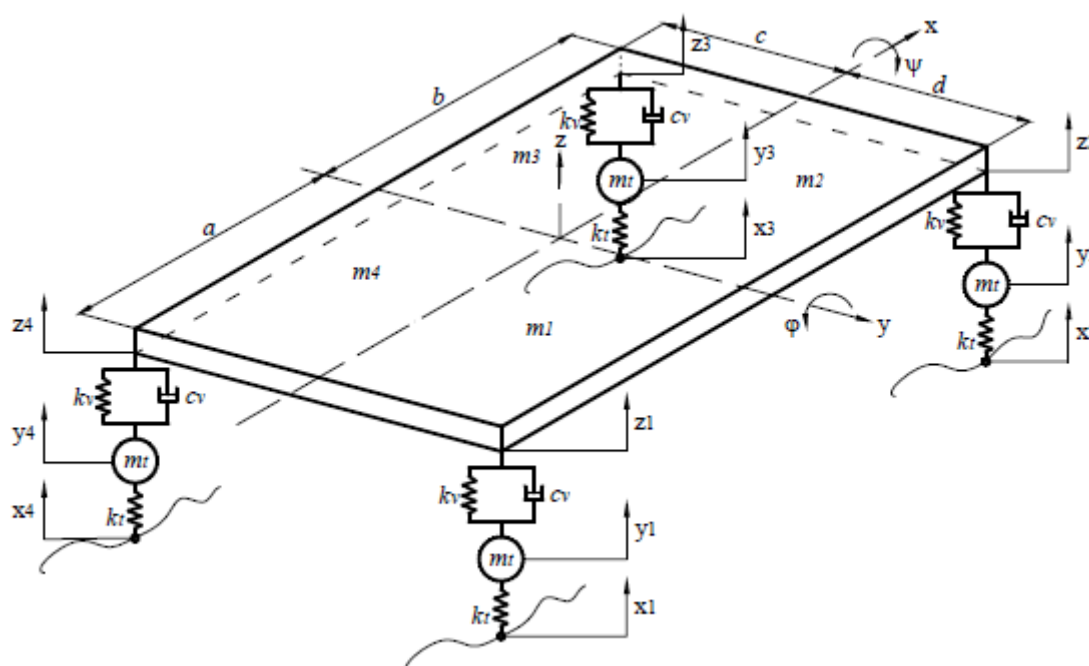
$$m_t \ddot{y}_1 + c_v(\dot{z}_1 - \dot{y}_1) + k_v(z_1 - y_1) + k_t(y_1 - x_1) = 0 \quad (4.2)$$

За потребе директне интеграције једначине су сведене на следећи облик [18]:

$$\ddot{z}_1 = y_1 \frac{k_t}{m_1} + \dot{y}_1 \frac{c_v}{m_1} - z_1 \frac{k_v}{m_1} - \dot{z}_1 \frac{c_v}{m_1} \quad (4.3)$$

$$\ddot{y}_1 = x_1 \frac{k_t}{m_t} - y_1 \frac{k_t + k_v}{m_t} - \dot{y}_1 \frac{c_v}{m_t} + z_1 \frac{k_v}{m_t} + \dot{z}_1 \frac{c_v}{m_t} \quad (4.4)$$

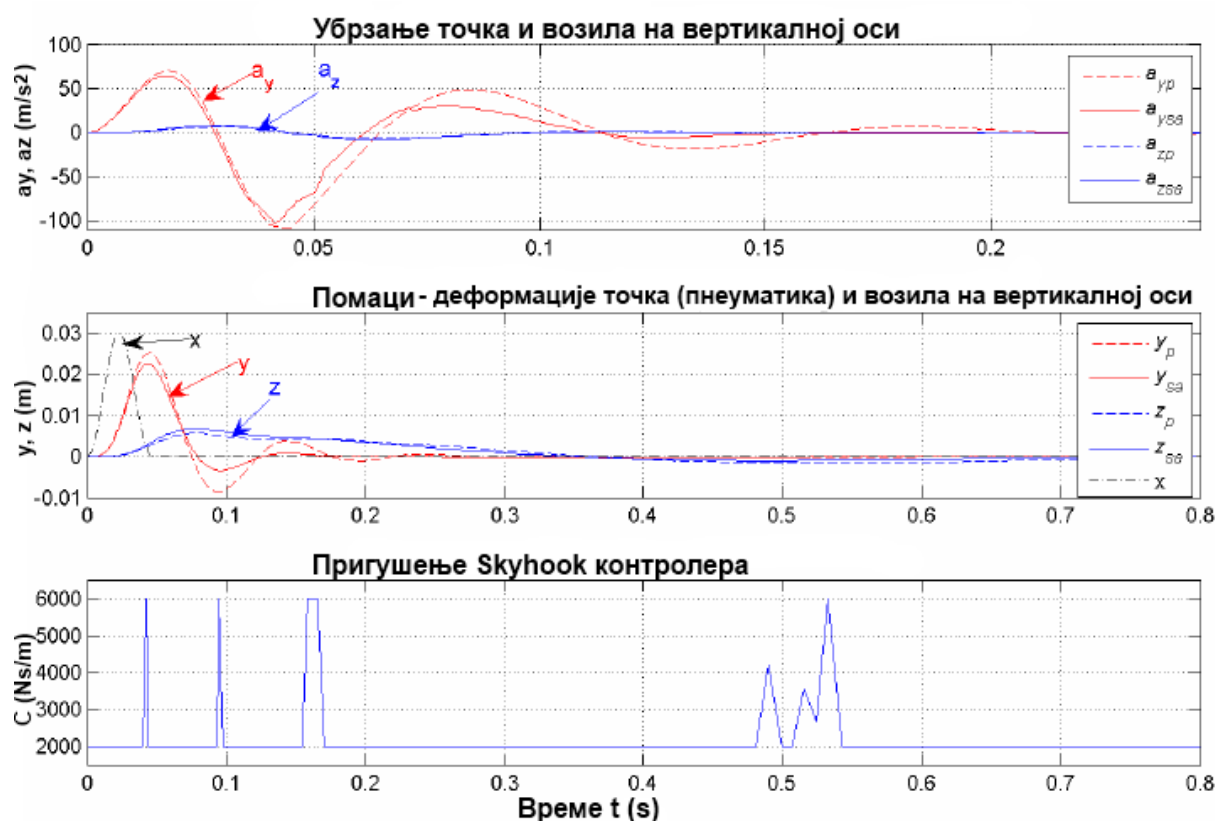
Осим претходно модела са 2 степена слободе кретања, уобичајено се користе и два модела са 4 степена слободе кретања (тзв. $\frac{1}{2}$ модели) и то „pitch – галопирање“ (нагињање возила око попречне осе) и „roll – ваљање“ (нагињање возила око уздужне осе) модел. Врло често се користи модел ослањања возила са 7 степени слободе кретања, тзв. пуни модел, који представља својеврсну комбинацију раније поменутих модела [18]. Пуни модел је шематски приказан на слици 4.20.



Слика 4.20 – Модел са седам степени слободе, „пуни модел“ [18]

Како би се спровела симулација полуактивног СЕО унутар прорачунског модела програма Simulink уграђује се тзв. Skyhook контролер који коригује интензитет пригушења пригушивача зависно од вредности и смера брзине ослоњене и неослоњене масе те брзине побуде кретањем подлоге. При томе Skyhook контролер мења силу актуатора између ослоњене и неослоњене масе, која је једнака производу пригушења и брзини удаљавања или приближавања маса. Пригушење актуатора варира између минималног пригушења C_{soft} , максималног пригушења C_{firm} , који зависи од карактеристика актуатора и еквивалентног пригушења C_{sh} , пасивног модела који замењује, чија се вредност бира између минималног и максималног пригушења. У пракси улогу актуатора може имати хидраулички клип, којем пригушење варира помоћу вентила или полуактивни амортизер са заобилазним вентилом који може бити отворен или затворен. Свакако је најбољи избор тзв. Магнетоно – реолошки амортизер којем се пригушење може мењати променом магнетног поља због којег се мења

вискозност флуида у амортизеру. Резултати примене Skyhook контролера као дела полуактивног СЕО, у симулацији возње преко принудног успоривача – „лежећег полицајца“, приказани су за случај $\frac{1}{4}$ модела возила на слици 4.21. Приказани дијаграми указују на побољшања у убрзањима и помацима – побудама точкова возила што је свакако мање штетно за само возило. С друге стране убрзања и помаци каросерије аутомобила, готово су једнаки за оба типа ослањања аутомобила [18].



Слика 4.21 – Поређење резултата пасивне (индекс p) и полуактивне (индекс sa) регулације (Skyhook контролер) СЕО при брзини кретања возила $v = 46,8 \text{ km/h}$ на принудном успоривачу – „лежећем полицајцу“ пројектованом за ограничење брзине на 50 km/h [18]

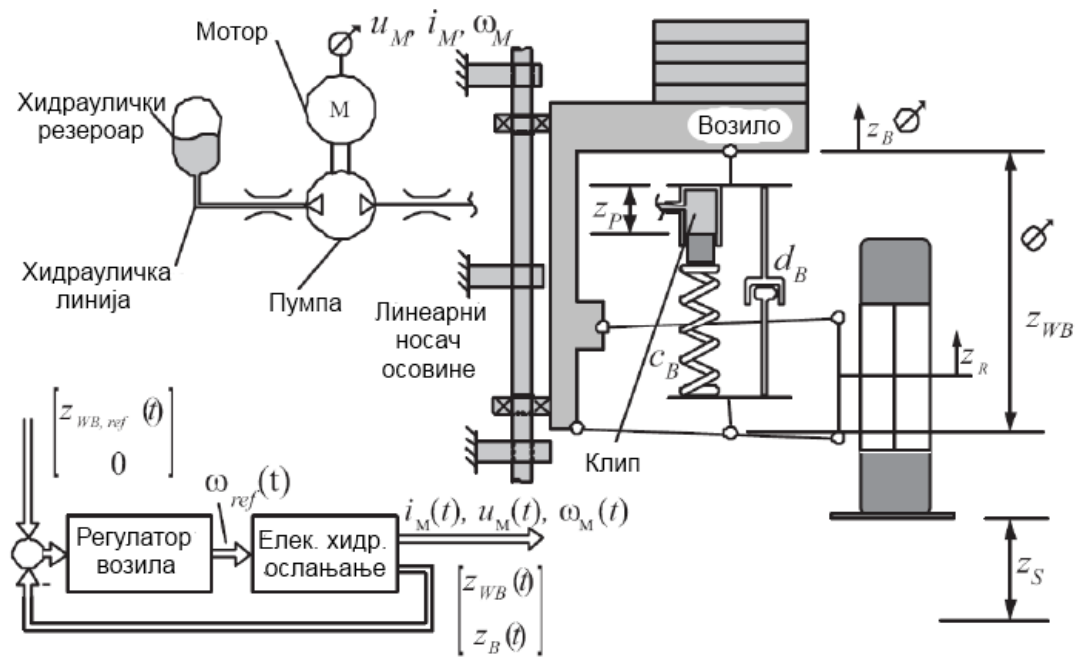
5. Активни системи еластичног ослањања

Активни СЕО представља аутоматско управљање системом и остварује се на 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 брзи хидраулички, хидропнеуматски, електрохидраулички или неки други. 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, заокретање точкава, 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 [1].

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. Спортски аутомобили, обично, имају круте, грубе СЕО са лошим возним карактеристикама, док луксузни седани имају еластичније СЕО, 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 обим 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 [1].

Активни СЕО осигурава посебан улаз силе као додатак на постојеће пасивне опруге. Захтевана енергија путничког возила у радном опсегу од 0÷5 Hz износи 1÷2 kW, а између 0÷12 Hz износи 2÷7 kW. На слици 5.1 је приказан пример активног хидрауличког ослањања са хидрауличким клипом у серији са челичном опругом, примењен код путничких возила Mercedes – Benz CL и S класе. Овај концепт је конструисан како би се смањила нискофреквентна кретања возила ($f < 2$ Hz), услед ваљања и понирања и редуковале високофреквентне побуде од стране пута ($f > 6$ Hz), Ово је регулисано са „state-feedback“ регулатором са мерењем реакције Z_{WB} између шасије возила и точка и убрзања каросерије возила $\ddot{Z}_W$ [7].



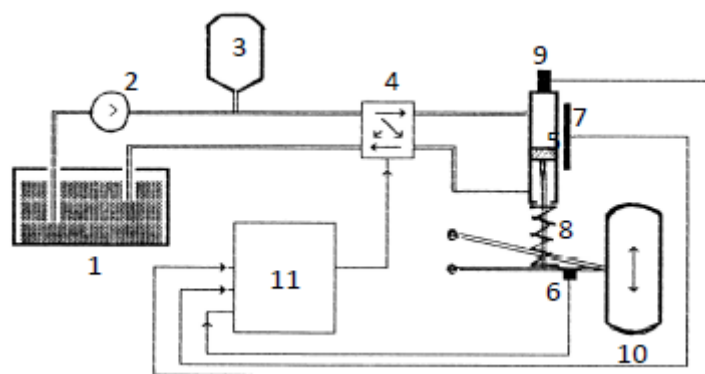
Слика 5.1 – Активно хидрауличко ослањања путничког возила [7]

Активни систем ослањања подразумева електро – вентиле у амортизерима који регулишу проток у њима и тиме мењају крутост, све то контролише компјутер преко сензора и података са електронске управљачке јединице. У обзир се узима угао точка управљача преко оптичког сензора преко кога се добија информација да ли је возило у кривини или на правцу, у ком је степену преноса, брзине кретања и да ли се убрзава или кочи, све то ради аутоматски (АУТО мод) тако да је ауто у кривинама и на великим брзинама нешто крући, а на правцу и мањим брзинама јако удобан. На контролној табли се налази и дугме којим може да се изабере и СПОРТ моду коме је ауто јако тврд и понаша се као да има право спортско ослањање. Од 2000 – их и каснији модели користе сличан систем као и Audi са магнетно – контролисаним вискозитетом у амортизерима. Уз помоћ овог система неће се пренети све динамичке реакције пута на возача и путнике услед неравнина док ће систем пружити потребну чврстину у моменту када је потребна, као на пример у кривини. Први начин рада једног оваквог система је хидродинамичко, где се померање точка по вертикали врши хидрауличким механизмом. Потребан флуид под притиском се добија захваљујући непрестаном раду једног или више хидрауличких пумпи. Задатак хидраулике је постизање одређене силе којом се точак помера по вертикали, док се за управљање истом користе електронски контролисани вентили [7].

Алтернатива овом решењу јесте систем са другим и другачијим принципом рада, где се сила ствара електромагнетима, а управљање се опет врши електроником. Електроника сада регулише параметре електричне струје и активности намотаја у електромагнетима или електромагнету. О којем год систему да се ради ту су сензори који служе за слање информације о тренутном положају сваког појединог точка и о сили која делује на њега. Неки системи чак користе и сензоре, тј. системе, који имају задатак да посматрају пут непосредно испред возила са свим својим неравнинама, што утиче да

целокупан систем ефикасније прилагођава точак условима пута по којем се креће. Ту су још и сензори окретања точкова, сензор брзине и сензори убрзања. Иначе у физици се и повећавање брзине и смањење брзине (кочење) назива убрзавање, позитивно или негативно.

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. Активни СЕО се, за сада, појављују само на врло скупим аутомобилима. Возила Формуле 1 представљају екстремни случај примене потпуно активних СЕО са компонентама свемирске технологије и великих радних опсега [1]. Брзи напредак у технологији израде микропроцесора ускоро ће овакве системе приближити и другим класама возила, укључујући породичне седане, миниванове, чак и возила компактне класе [7]. На слици 5.2 приказана је једна блок шема електронски активног система ослањања на којој су означене позиције елемената СЕО.

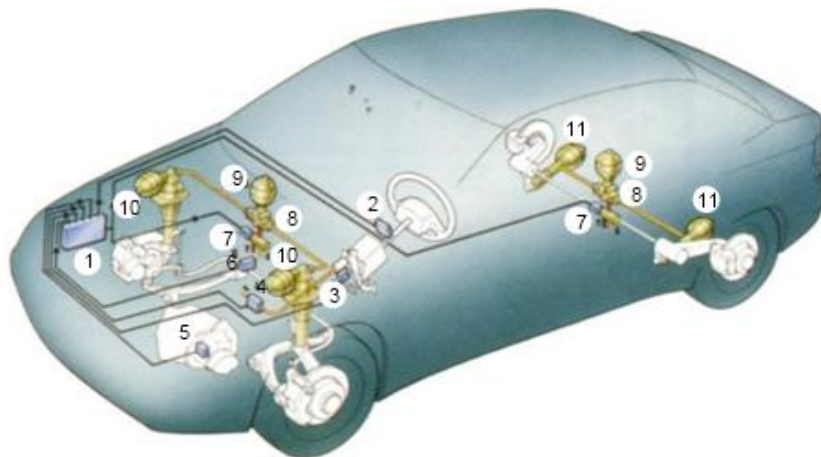


Слика 5.1 – Електронски управљано активно ослањање: 1 – резервоар флуида, 2 – пумпа, 3 – акумулатор флуида под притиском, 4 – електро-разводни вентил са четири прикључка, 5 – актуатор, 6 – давач силе, 7 – давач положаја, 8 – опруга, 9 – давач убрзања, 10 – точак, 11 – електронска управљачка јединица [19]

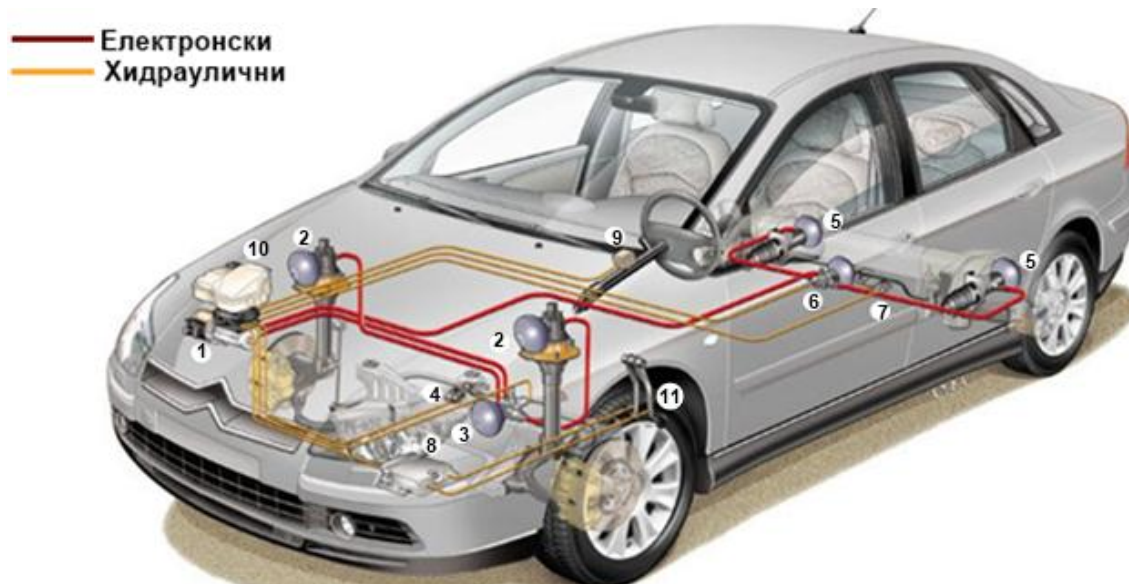
5.1. Примена активног ослањања на савременим возилима

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, бољи „осећај“ пута, добар одзив аутомобила и већу безбедност. Неки активни СЕО, тзв. “preview“ системи (системи са предвиђањем) користе ласерске системе за мерење неравнина пута испред аутомобила, систем повратне спреге информација и претходну информацију даваоца да би се остварио адекватан одзив возила.

Фирма Citroen први пут је крајем 80 – тих 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 интелигентан хидраулички СЕО. Побољшана верзија, „Hydroactive II“, појавила се неколико година касније на аутомобилу Citroen Xantia (слика 5.3), док се активни хидраулички систем треће генерације, „Hydroactive III“, данас налази на аутомобилу Citroen C5, чија је шема активног СЕО приказана на слици 5.4.

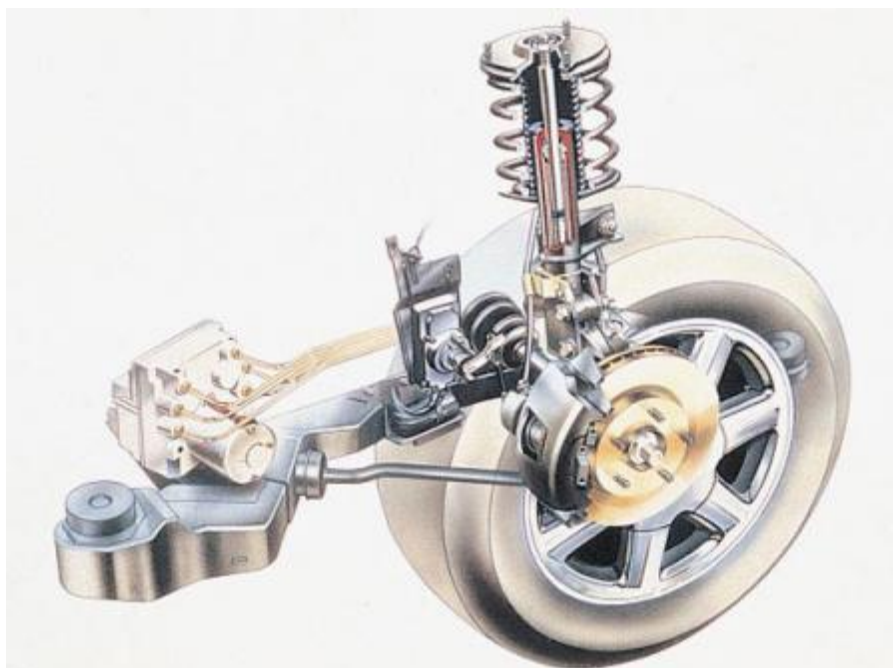


Слика 5.3 – „Hydroactive II“ на аутомобилу Citroen Xantia: 1 – Електронска управљачка јединица, 2 – сензор брзине окретања точка управљача, 3 – сензор брзине покретања педале кочнице, 4 – кочни сензор, 5 – сензор брзине, 6 – сензор покрета каросерије, 7 – електроventил, 8 – регулатор крутости, 9 – додатни хидропнеуматски цилиндар, 10 – предњи хидропнеуматски цилиндри, 11 – задњи хидропнеуматски цилиндри [13]



Слика 5.4 – „Hydroactive III“ на аутомобилу Citroen C5: 1 – интегрисана хидротоник јединица, 2 – стубови предњег СЕО, 3 – предњи регулатор крутости, 4 – предњи давач позиције, 5 – задњи хидропнеуматски цилиндри, 6 – задњи регулатор крутости, 7 – задњи давач позиције, 8 – интерфејс система, 9 – давач на точку управљача, 10 – резервоар флуида, 11 – команде гаса и кочнице [6]

На аутомобилима марке Cadillac, активни CEO појавили су се 1996. године. Систем назван „CVRSS“ (ContinuouslyVariableRoad – SensingSuspension), користи низ давача који активирају хидрауличке амортизере на сва четири точка. Систем се прилагођава условима пута у делићу секунде. На слици 5.5 приказан је систем активног CEO на возилу Cadillac.

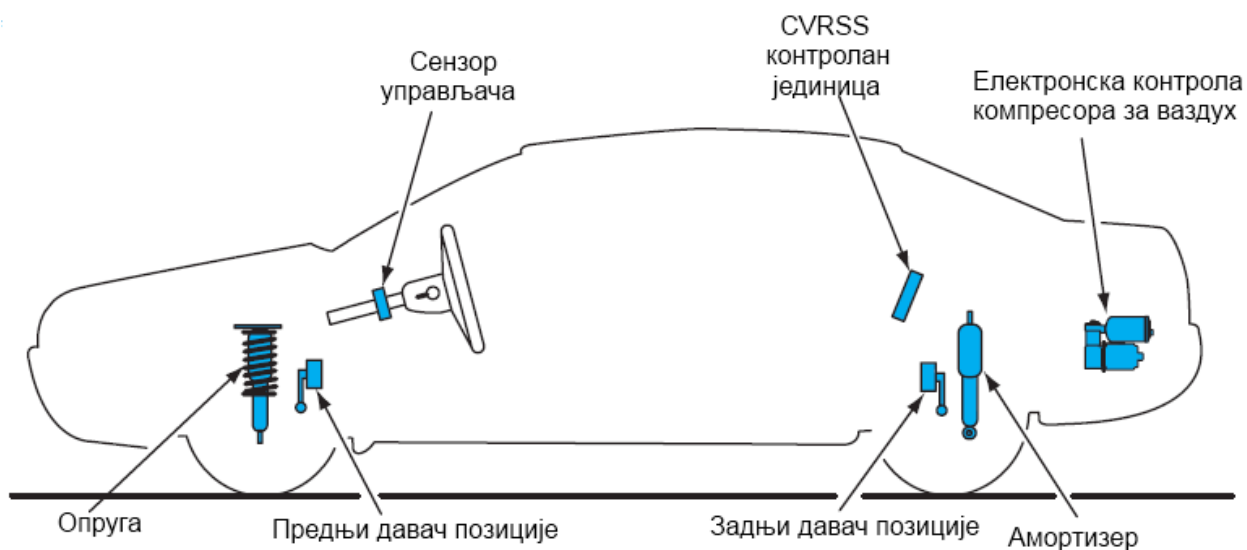


Слика 5.5 – Активни систем еластичног ослањања код путничког возила Cadillac [6]

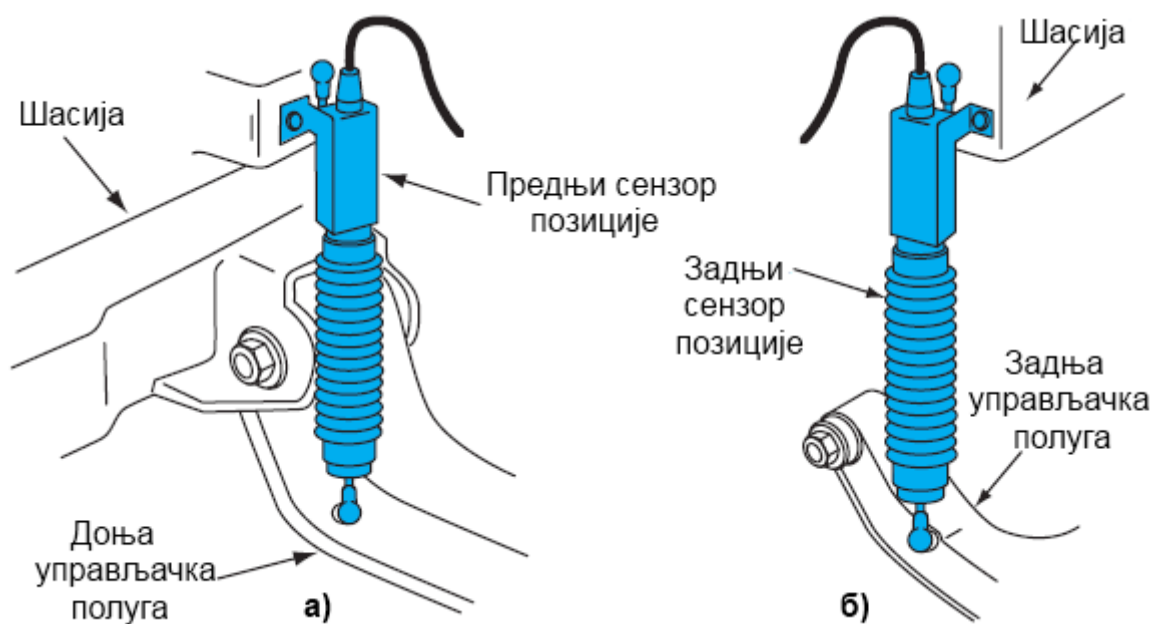
Почев од модела из 1999. године, спортски аутомобил LandRoverDiscovery, серије II, садржи активни систем ослањања назван ACE (ActiveCorneringEnhancement). То је први активни CEO намењен спортским аутомобилима.

Користи хидраулички 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 $1g$, m/s^2 у року од 250 ms [6].

CVRSS активно ослањање пригушује динамичке реакције тла у предњим и задњим носачима амортизера у зависности од пута и услова вожње. CVRSS систем мења своје карактеристике у размаку од 10 до 12 ms, док други системи ослањања захтевају много дужи временски интервал за амортизацију и промену карактеристика огибљења, и до 200 ms. На слици 5.6 приказана је шема са распоредом компоненти активног система ослањања CVRSS на путничком возилу Cadillac [20].



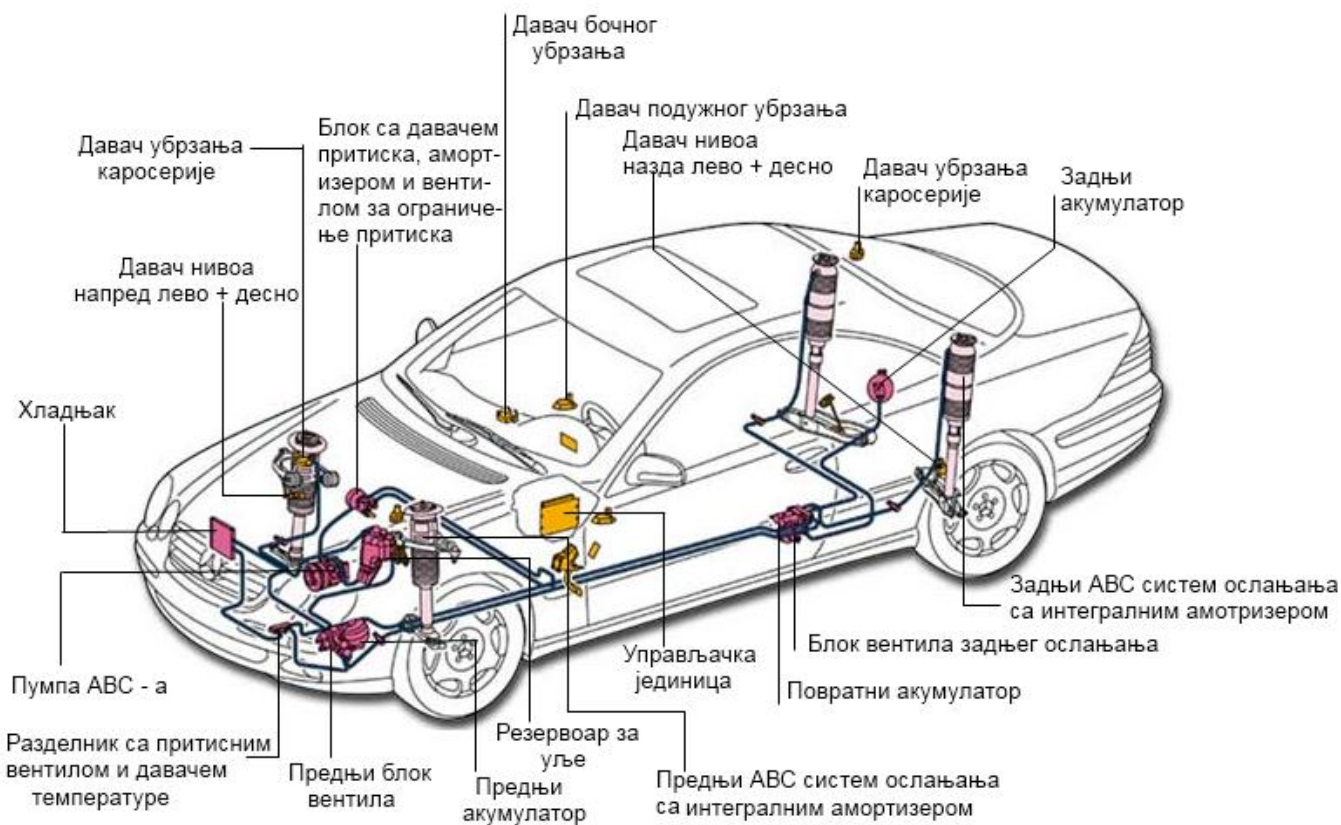
Слика 5.6 – Распоред компоненти активног система ослањања CVRSS на путничком возилу Cadillac [20]



Слика 5.7 – Положај сензора позиције: а) напред, б) позади [20]

Сензори позиције тачка монтирају се на возила између доње управљачке полуге и шасије (слика 5.7а и 5.7б). Сензор шаље аналогне напонске сигнале до CVRSS управљачке јединице, дајући податке релативног кретања тачка у односу на каросерију возила, као и брзину кретања тачка. Задњи сензор позиције такође обезбеђује информацију о висини задњег система ослањања и шаље CVRSS управљачкој јединици, а ова информација се користи од стране управљачке јединице за контролу висину задњег ослањања. Са сва четири тачка користе се исти сензори позиције, тј. истих карактеристика и конструкције.

Mercedes – Benz уграђује активни CEO, назван ABC (ActiveBodyControl) у своје моделе високе класе, један од њих је MB CL500, чији је систем активног ослањања приказан на слици 5.8. Систем користи 13 различитих давача – сензора који шаљу информације ка 4 хидрауличка серво – цилиндра постављена изнад сваке завојне опруге.



Слика 5.8 – Активни систем ослањања, возила Mercedes – Benz CL500 [6]

Адаптивно ваздушно ослањање или пнеуматско ослањање са регулацијом амортизера – ово активно ослањање примењује се на моделима произвођача Audi, као што је возило високе класе Audi A8 (слика 5.9). CEO предњег и задњег ослањања возила су раздвојени, тј. врши се контрола предњег левог и задњег амортизера, односно предњег десног и задњег десног амортизера, компресор ради веома ефикасно, посуда је од алуминијума запремине 5,8 l, а је ваздуха под притиском од 18 bar [21].

Адаптивно пнеуматско ослањање поставља висину возила у различитим нивоима у зависности од брзине возила и захтева возача. При већим брзинама ниво возила се снижава за 15 mm у аутоматском режиму. При брзинама до 80 km/h, систем ослањања подиже ниво возила за 35 mm, овој мод подешавања је идеалан за вожњу на неприступачном терену. Када се возите полако возач може одабрати „lift mode“ режим и повећа клиренс возила за још 10 mm [21].

Систем CDC (*Continuous Damping Control*) – стална контрола пригушења амортизера који раде са високом флексибилношћу. Њихов контролна јединица делује у складу са условима пута, стилу вожње, и режиму вожње. Рачунар индивидуално прилагођава пригушење амортизера за сваки точак у милсекундама (ms). Електромагнетни

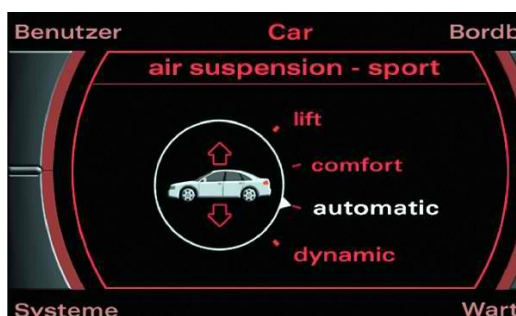
покретани вентили контролишу проток хидрауличке течности између унутрашњег и спољашњег цилиндра. На слици 5.10 приказано активно ослањање предње осовине код возила Audi A8, док су на слици 5.11 приказани модови на дисплеју инструмент табле за одабир режима ослањања.



Слика 5.9 – Audi A8 са активним пнеуматским ослањањем [21]



Слику 5.10 – Активно ослањање предње осовине код возила Audi A8 [21]



Слика 5.11 – Приказ модова на дисплеју инструмент табле за одабир режима ослањања [21]

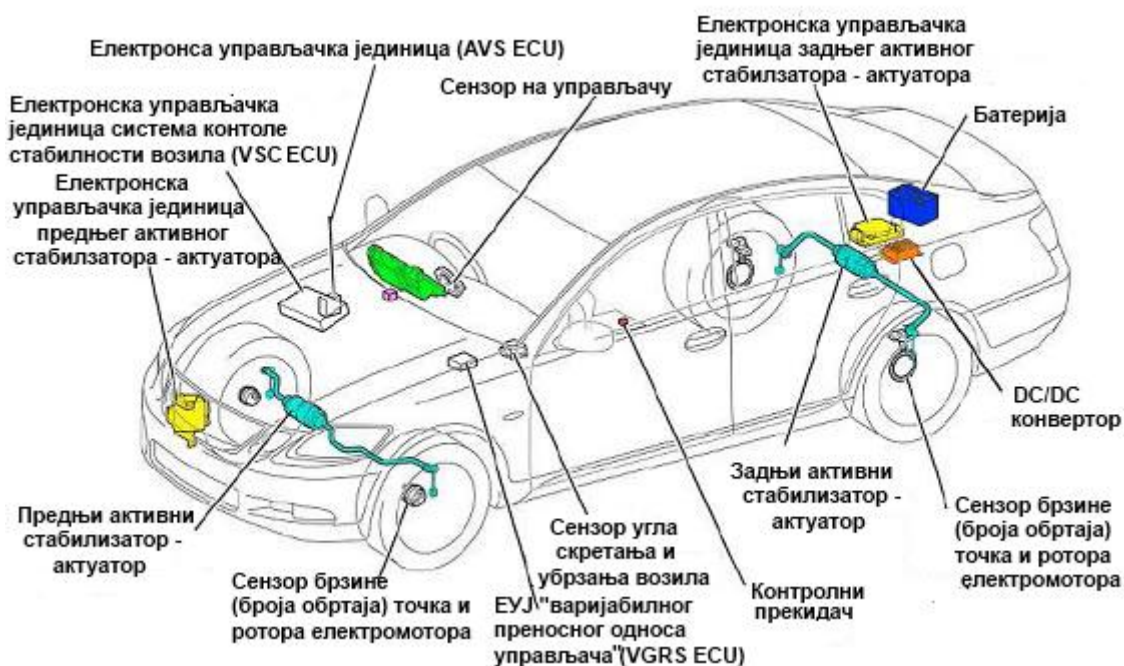
Немачки произвођач луксузних спортских аутомобила Porsche за своје modele возила користи активни систем ослањања под називом PASM (*Porsche Active Suspension Management*) – активно контролисано ослањање које је ниже у односу на претходне modele за 10 mm [22]. Посебно, ново активно управљање задњим точковима и PorscheTorqueVectoring (PTV), који се користи код Porsche-a 911 GT3 по први пут као стандардни, проширују спектар опција вожње, а ту су за додатно унапређење и активни носачи мотора. Ослањање на Porsche 911 GT3 остаје активно контролисано уз помоћ специјално подешеног променљивог PASM система ослањања. Као што је био случај са претходним моделом, возач може изабрати један од два режима. Нормалан режим контролише ослањање на спортски начин за вожњу по јавним путевима и на кружним стазама са неравним површинама. Да би се додатно повећао динамички потенцијал посебно на кружним стазама, PASM у спортском режиму омогућава специјално прецизне и циљане карактеристике вожње путем смањења покрета каросерије на минимум. Због напредних контролних алгоритама, Porsche 911 GT3 нуди ширење прилагодљиве функције ослањања, како у нормалном тако и у спортском режиму вожње који још шири него код претходног модела. Као и код претходног модела понуђен је пнеуматски систем подизања на предњој осовини. Са новим појединачним компонентама, обезбеђена је опција за подизање „тела“ – каросерије возила за 30 mm при брзинама до 50 km/h [23]. На слици 5.12 приказано је PASM активно ослањање на задњој погонској осовини (лево), као и модови за одабир режима ослањања код Porsche-a 911 GT3.



Слика 5.12 – Лево: PASM активно ослањање на задњој погонској осовини, Десно: модови за одабир режима ослањања код Porsche-a 911 GT3 [24]

Електронски контролисан активни стабилизатор (*Electronic Active Stabilizer Suspension System*) CEO је инсталиран по први пут 2005 године на возилу Lexus GS, када је и отпочела масовна производња овог путничког возила. Овај систем еластичног ослањања се и даље развија од стране произвођача аутомобила у Северној Америци и Европи.

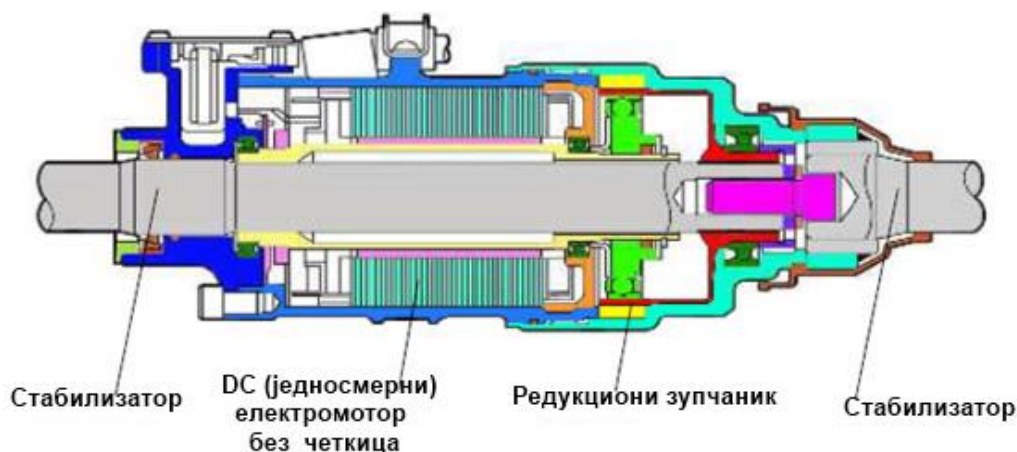
Управљивост возила, стабилност и удобност вожње често у супротности једно са другим. На пример, веома је тешко постићи динамичност и удобност током вожње код спортских модела, нарочито код пнеуматског ослањања. Из тог разлога у циљу стабилности у највећој могућој мери, развијен је активни стабилизатор који ради на принципу актуатора, који смањује угао „нагињања – увијања“ каросерије до 50% при скретању. 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 и средина стабилизатора има мале ротације, а крајеви угаоно померање (горе – доле), сходно померању точка, спајање са носећим елементима је остварено гумено – металним чаурама. Као резултат тога, маневарске способности возила и стабилност су побољшани. Поред тога, електронска управљачка јединица врши подешавање система у зависности од путних услова, тако да побољшана удобност вожње [5,25]. Слика 5.13 приказује конфигурацију електронски контролисаног активног стабилизатора.



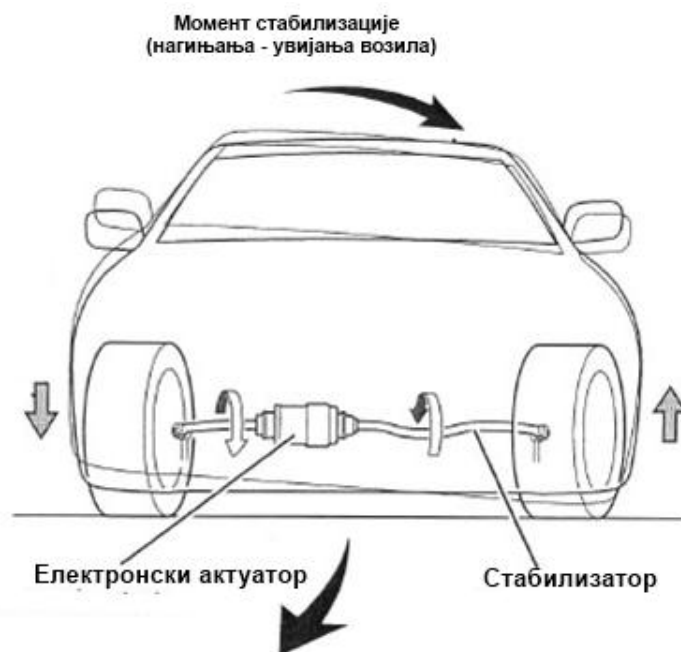
Слика 5.13 – Електронски контролисани активни стабилизатор (распоред компоненти) [25]

Систем активних стабилизатора је опремљен еластичним торзионим опругама – стабилизаторима за бољу контролу каросерије возила и управљања возилом. Овај систем, први пут представљен у Европи на моделу LS 600h, има централни покретач који се налази на предњој и задњој стабилизацијској ручици. Систем садржи DC електромотор без четкица са зупчаником којим се доводи потребна сила за којом се регулише лева и десна страна стабилизационе опруге. ЕУЈ израчунава потребни

момент увијања на основу података са сензора, закрета управљача и информације о брзини возила. Овај систем се независно примењује на предњем и задњем делу возила, регулишући нагиб каросерије чиме повећава стабилност возила, боље пријањање у кривинама и већу покретљивост побољшаним одзивом управљача. За смањење потрошње енергије, систем активних стабилизатора остаје искључен при војњи на равном путу. Електромотор на основу команди ЕУЈ може да успори возило и смањи брзину кретања, као резултат тога, угао нагиба возила при заокретању се смањује како је приказано на сликама 5.15 [25].



Слика 5.14 – Попречни пресек електронског актуатора [25]



Слика 5.15 – Шематски приказ дејства момента увијања при заокретању предњих точкова на електронски контролисан стабилизатор возила Lexus GS [25]

На слици 5.16 приказано је понашање аутомобила Lexus GS при заокретању предњих управљачких точкова и дејства момента увијања на предњу осовину, где је у првом случају примењен стандардни стабилизатор, док је у другом случају на возило постављен електронски контролисан стабилизатор.



Слика 5.16 – Понашање аутомобила Lexus GS при заокретању предњих управљачких точкова и дејства момента увијања на предњу осовину са стандардним и електронски контролисаним стабилизатором [25]

5.2. Амортизери код активног СЕО

Амортизере би према задатку који испуњавају било исправније називати пригушивачем осцилација. Нове технологије у лакој градњи, се огледају у примени хладно вученог алуминијума, магнезијума или микрولةгираног челика високе чврстине. Развојем нових генерација возила модули опружнихпригушивача и активни амортизациони системи се све чешће налазе у каталогу стандардних захтева произвођача возила. Конвенционални амортизери ће се међутим и у будућности уграђивати у моторна возила.

Амортизери морају да испуне следеће високе критеријуме. Они морају да се старају о безбедности и удобности у току вожње, при чему важи:

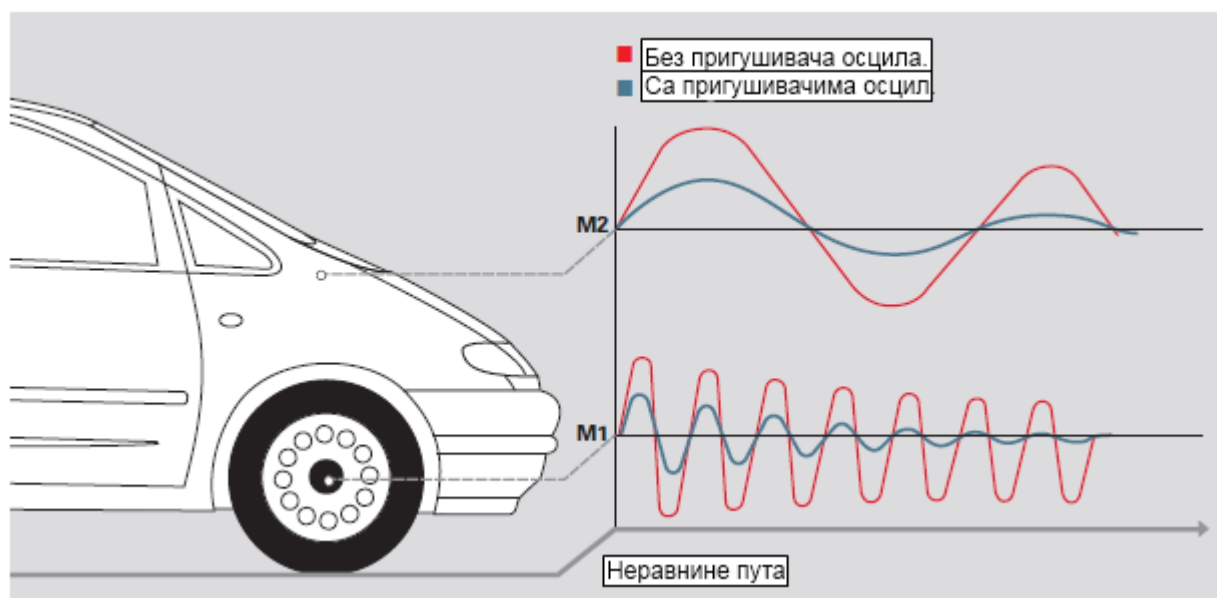
- за удобност што је могуће мање пригушења,
- за безбедност у вожњи што је могуће више пригушења [26].

Конвенционални амортизери имају унапред подешену константну високу силу пригушења у корист безбедности. Она међутим није оптимална за стално променљиве ситуације у вожњи. То је довело до развоја варијабилних амортизационих система, који се аутоматски прилагођавају актуелној возној ситуацији. Од амортизера се очекује следеће:

- Безбедност у вожњи:
 - нема поскакивања точкова по нормалном путу,
 - возило се при кочењу не заноси у страну,
 - нема заносења услед проклизавања при вожњи у кривинама.
- Удобност у вожњи:
 - нема дугог прелазног осциловања возила,
 - нема заносења возила при наизменичним неравнинама,

- нема пропињања возила при убрзавању, односно нема јаких понирања при кочењу [26].

При преласку преко неравнине опруге апсорбују ударац. Оне спречавају да амортизоване компоненте M_2 = каросерија возила + терет дођу у додир са неамортизовану компонентама M_1 = осовине и точкови (сл. 5.17). Након сабијања опруге настоје да отисну амортизоване компоненте од неамортизованих. Пригушивачи осцилација смирују тако настале осцилације осовине [26].



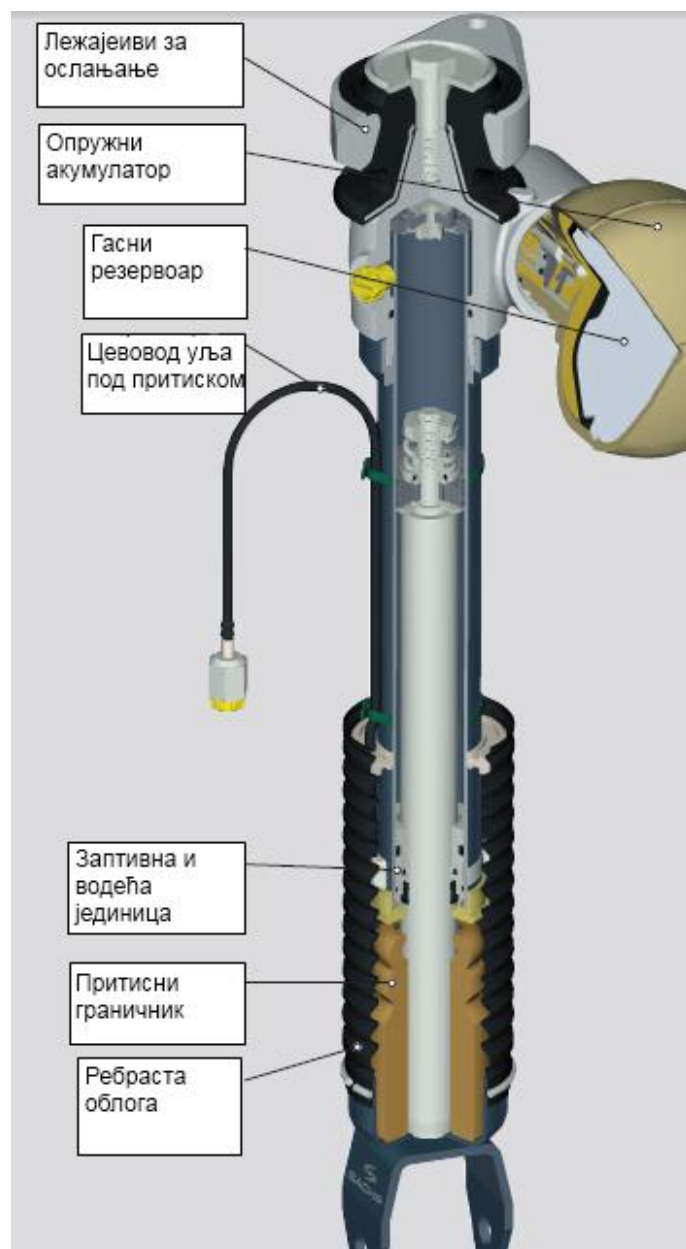
Слика 5.17 – Начин деловања пригушивача осцилација код путничких возила [26]

- Хидропнеуматска регулација висине – опружни цилиндар (конструкција и карактеристике):

Ова конструкција СЕО по концепту одговара једноцевном амортизеру. Каросерија возила се преко клипњаче подиже или спушта услед дотока или повратног тока уља. Потребан притисак уља се успоставља уз помоћ централне хидраулике возила. Висину каросерије возила одређује посебан регулатор. Горњи и доњи спојеви су изведени као посебно снажни лежачеви за ослањање односно носачи, будући да опружни цилиндар мора да прихвати укупан статички и динамички терет каросерије возила [26]. На слици 5.18 приказан је опружни цилиндар фирме ZF.

Посебне карактеристике су:

- заптивна и водећа јединица предвиђена за високе притиске до 90 bar,
- посебно снажна клипњача,
- мора да носи тежину каросерије возила,
- амортизацију возила преузима гасни резервоар унутар опружног акумулатора, који је премештен напоље,
- он се налази директно на цеви посуде или је повезан преко цевовода под притиском и смештен на неком другом месту возила [26].



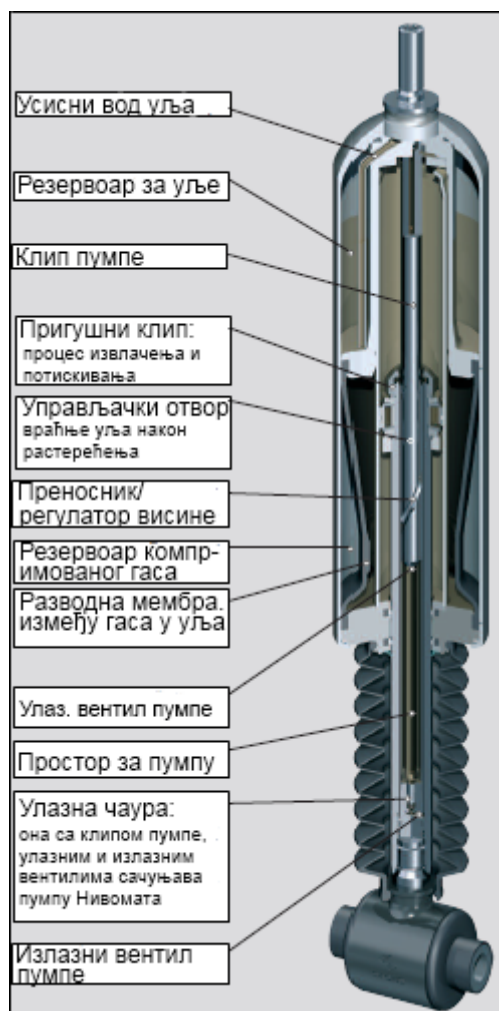
Слика 5.18 – Хидропнеуматска регулација висине – опругни цилиндар фирме ZF [26]

○ Хидропнеуматска регулација висине – нивомат (конструкција и предности):

Нивомат потпуно аутоматски поставља оптималну висину возила при свим стањима оптерећености. У компактној јединици су уједињени амортизери заједно са свим елементима за регулацију висине као што су пумпа, резервоар за уље, резервоар компримованог гаса и регулатор висине. Енергија за подешавање оптималне висине возила добија се из релативног кретања између осовине и каросерије возила. Са порастом оптерећења појачава се рад пумпе, што додатно делује као растућа сила пригушења [26]. На слици 5.19 приказан је хидропнеуматски регулатор висине – нивомат фирме ZF.

Предности:

- удобност у вожњи и безбедност при сваком оптерећењу,
- нивомат преузима функције амортизера и опруге осетљиве на оптерећење,
- у зависности од стања возне подлоге потпуно натоварено возило већ након неколико стотина метара пређеног пута достиже своју нормалну висину,
- нема хидрауличких или електричних водова,
- пун ход опруга, висина возила остаје иста и константан је размак од тла [26].



Слика 5.19 – Хидропнеуматски регулатор висине – нивомат, фирме ZF [26]

○ Варијабилни амортизациони систем (конструкција и функција):

Варијабилни амортизациони системи побољшавају управљивост возила, повећавају спортску динамичност и вожњу чине удобнијом и опуштенијом уз истовремену бескомпромисну безбедност. CDC пригушивачи (Continuous Damping Control) – стално променљива контрола пригушења поседује електронски регулисан пропорционални пригушни вентил. На слици 5.20 приказан је CDC пригушивач фирме ZF [26].

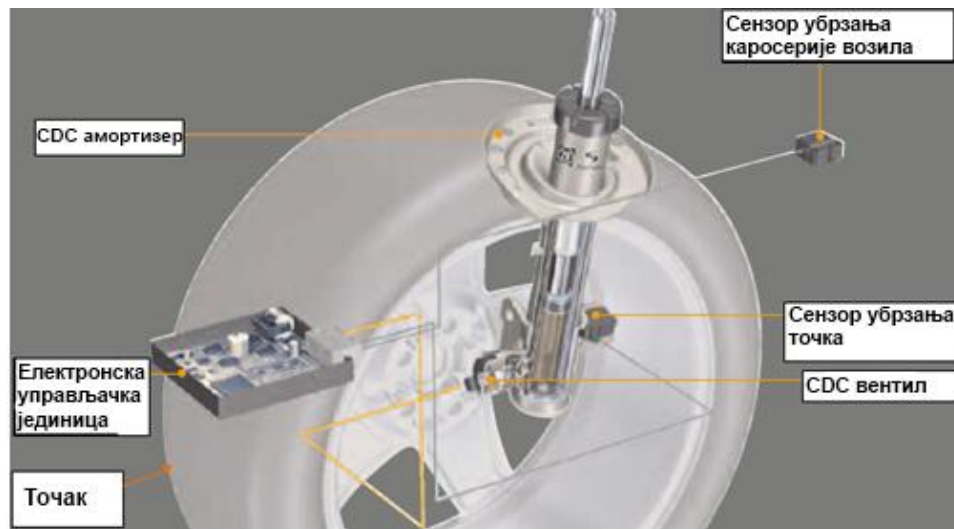


Слика 5.20 – CDC пригушивач фирме ZF [26]

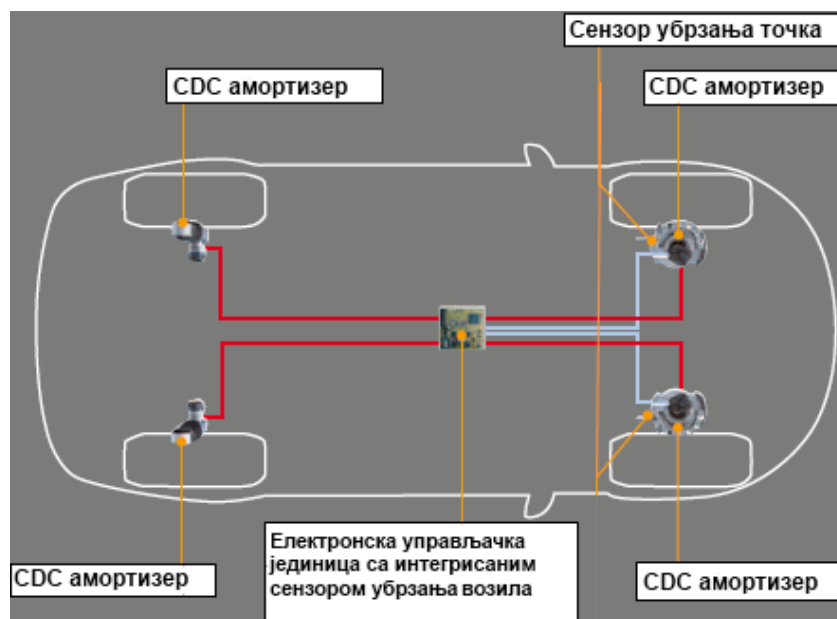
У зависности од положаја вентила довод уља се проширује (меко) или сужава (тврдо). Сензори надгледају све утицаје попут стања пута, оптерећења, кретања возила при убрзању, кочењу или вожњи по кривинама као и понашања возача. Сигнали сензора се обрађују у управљачком уређају. Он сваке две милисекунде рачуна потребне пригушне силе и шаље податке пропорционалном пригушном вентилу. Преко тог вентила се тада пригушне силе континуирано и аутоматски прилагођавају дотичној ситуацији у вожњи и стању пута. У тешким ситуацијама у вожњи пригушење аутоматски постаје тврђе. Овако оптимизованим пригушивањем возач је активно потпомогнут са више безбедности и удобнијом управљивошћу возила [26].

Актуатори, сензори, хардвер и софтвер формирају један компактан склоп CDC амортизера (сл. 5.21). Пригушење осцилација за сваки точак појединачно, контролисано од стране електронске управљачке јединице, а непрекидно се током вожње контролише смер кретања точкова и тела возила (каросерије) (сл.5.22). Садашњи амортизери имају и подесив ход, што их чини још универзалнијим, такође и подешавање тврдоће, компресије и одскока (rebound-a) за лакше савладавање успона и неравнина пута како би возачу омогућили постизање максималних перформанси удобности. Оптимална удобност и безбедност током вожње су доста унапређени у

односу на стандардне амортизере. Језгро пригушења система CDC амортизера је вентил, у зависности од положаја, отвор за проток уља се проширује („меко“ ослањање) или скупља („тврдо“ ослањање) [27].



Слика 5.21 – Компоненте CDC амортизера – система [27]



Слика 5.22 – CEO са CDC амортизерима и електронском контролом [27]

Предности:

- пораст безбедности захваљујући оптимизацији пригушења,
- смањење нагињања, климања и вертикалних кретања,
- краћи зауставни пут захваљујући повећаном пријањању на тла,
- брже реаговање управљача,
- боља контрола при престојавању [26].

CDC пригушивачи налазе примену како код путничких возила тако и код привредних возила.

- Пригушне компоненте (пригушни вентили, заптивке, граничници и зглобови):

Пригушни вентили – Конструкција и комбинација делова вентила омогућавају мноштво варијанти, тако да се за сваку конкретну потребу постиже оптимална карактеристика пригушења (дегресивна, прогресивна, линеарне карактеристике). Сила пригушења се у складу са датим законитостима повећава са порастом брзине клипа. Уобичајене оријентационе вредности за максималне силе пригушења:

- путничка возила: сила извлачења око 4500 N
сила потискивања око 2200 N.
- привредна возила: сила извлачења око 20000 N
сила потискивања око 6000 N [26].

Заптивке – Ефикасност и радни век амортизера у одлучујућој мери одређује заптивка заједно са вођицом и површином клипњаче. Perbunan заптивке су предвиђене за температуре до 100 °C (краткотрајно 120 °C), а Viton заптивке до 160 °C (краткотрајно 200 °C). У зависности од захтева и оптерећења примењују се једноструке или двоструке заптивке [26].

Граничници – Граничници се користе за ограничавање хода клипњаче, а тиме и хода опруга возила. Граничници потискивања се налазе изнад поклопца клипњаче или на неком другом месту на возилу. Вучно оптерећење унутар амортизера ограничава се механичким, механичко-еластичним и хидрауличким граничницима.

Зглобови – Зглобови су еластични, звучно – изолациони елементи који се постављају између шасије и осовине. Осим вучних и потисних сила, такође морају преузимати и угаона кретања. Прстенасти зглобови се примењују за веће угаоне помаке, а вијчани за мање и у свим смеровима готово једнаке помаке.

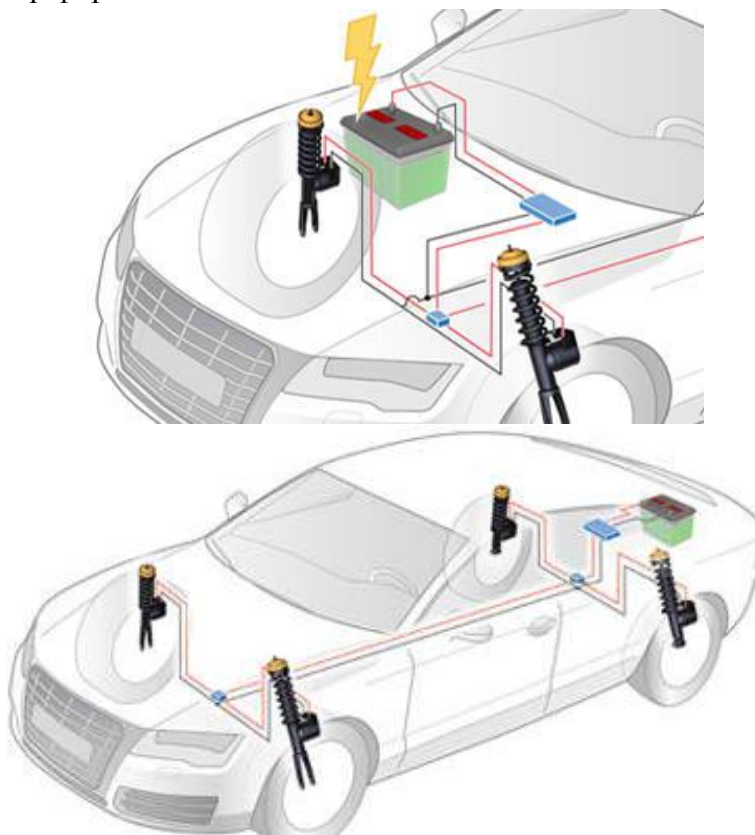
- Потпуно активни амортизери:

Нови модели активног и регенеративног система ослањања имају за циљ удобност у вожњи, али акумулацију кинетичке енергије која настаје оптерећењем и активирањем система, што би имало значајног ефекта код хибридних возила. Иновативна функционална јединица, уграђена са спољне стране амортизера, технолошка је основа за споменути активни регенеративни систем. Веома компактна јединица састоји се од властите контролне јединице, електромотора и електро – пумпе.

Осим изванредних амортизацијских могућности, овај иновативан систем ослањања са активним амортизерима нуди још једну могућност, кад год то ситуација у вожњи дозвољава. Наиме, нови GenShock ослањање (слика 5.23) с активним амортизерима омогућава коришћење кретања клипа амортизера за прикупљање енергије. У том случају, систем контролише проток уља у амортизеру на такав начин да исти покреће електромотор који тада функционише као генератор претварајући насталу кинетичку

енергију у електричну енергију која се шаље назад у систем снабдевања енергијом. Овај поступак уједно смањује и емисије штетних гасова, а најефикаснији је у лошијим условима вожње када су амортизери и СЕО највише активни.

С овим пројектом фирма ZF је успела да искористи своје дугогодишње, богато искуство у развоју адаптивних амортизера. Њихов CDC систем постао је јако тражен од стране произвођача аутомобила, а већ готово 20 година а на тржишту је у употреби већ четврта генерација споменутог система. На слици 5.24. приказан је потпуно активни амортизер фирме ZF.



Слика 5.23 – ZF GenShock регенеративни СЕО [28]

Пошто GenShock не захтева јединствен склоп амортизера како би се омогућио активну контролу система, интеграција на постојећу аутомобиле је драстично поједностављена. Вентил који се монтира на цилиндар амортизера може радити прецизно и регенерисати кинетичку енергију и при великим брзинама кретања возила.



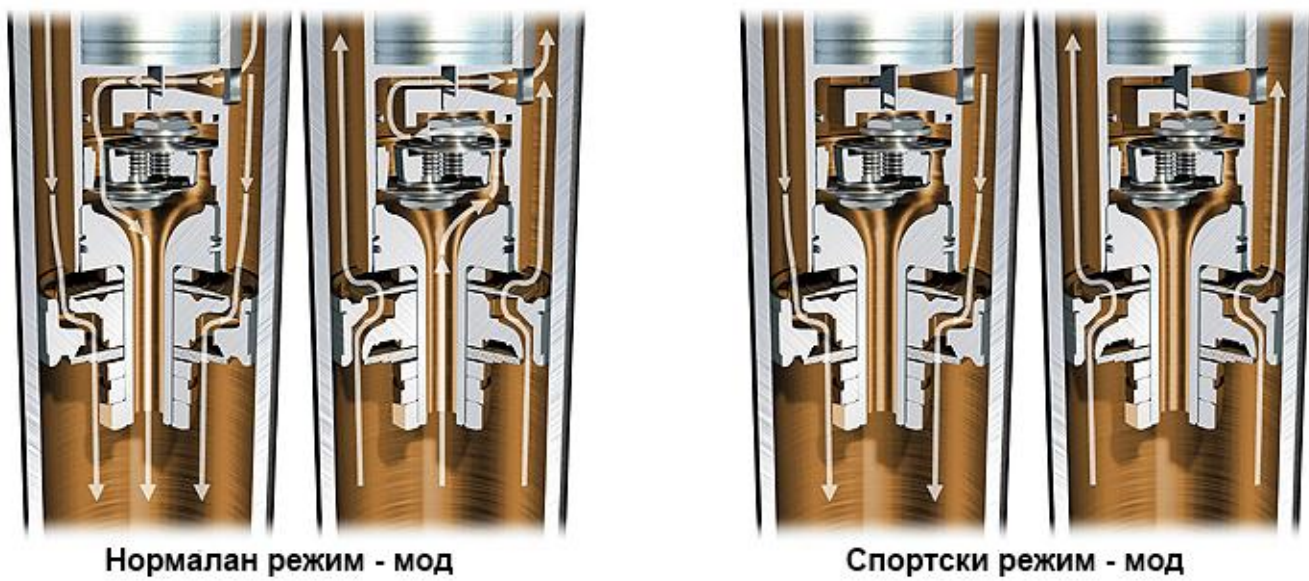
Слика 5.24 – GenShock активни амортизер произвођача ZF [28]

○ Амортизери код PASM активног ослањања:

PASM (PorscheActiveSuspensionManagement – активно контролисано ослањање) амортизери имају електрично подесив вентил који се налази унутар амортизера помоћу кога је могуће контролисати количину уља која се креће кроз цилиндар амортизера и на тај начин је могуће променити крутост амортизера. У зависност од режима вожње возач може подесити амортизере у два мода: нормалан – „удобан“ и спортски – „тврђе ослањање“. Да би се постигла одређена крутост и пригушење у амортизерима неопходно је променити ток струјања уља кроз цилиндар амортизера (сл. 5.26). На слици 5.25 приказан је PASM активни амортизер.



Слика 5.25 – PASM активни амортизер [22, 29]

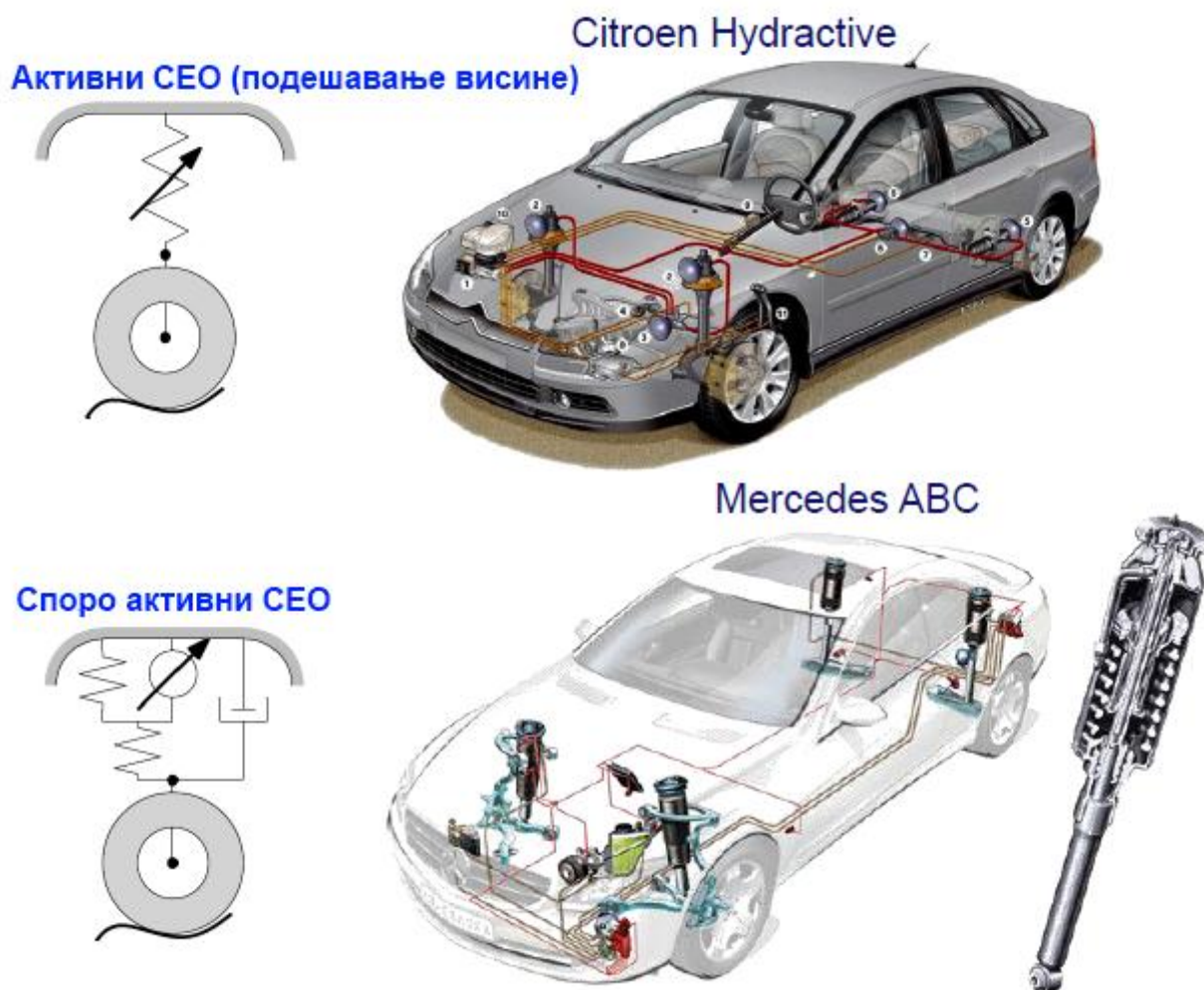


Слика 5.26 – Ток струјања уља кроз цилиндар амортизера у зависност режима вожње [29]

6. Основни типови извођења активних СЕО

6.1. Хидро – пнеуматски системи активног ослањања

Овај вид активног ослањања представљају комбинацију ваздушних и хидрауличких компонената. Елементи активног хидро – пнеуматског СЕО могу бити различите конструкције и уградње. На слици 6.1 су приказана осцилаторни модели ослоњене масе за хидро – пнеуматско активно ослањање код возила Citroen C5 и Mercedes – Benz CL500, Hydroactive и Mercedes ABC.



Слика 6.1 – Осцилаторни модели ослоњене масе за хидро – пнеуматско активно ослањање код возила Citroen C5 (Hydroactive) и Mercedes – Benz CL500 (Mercedes ABC) [30]

Предности:

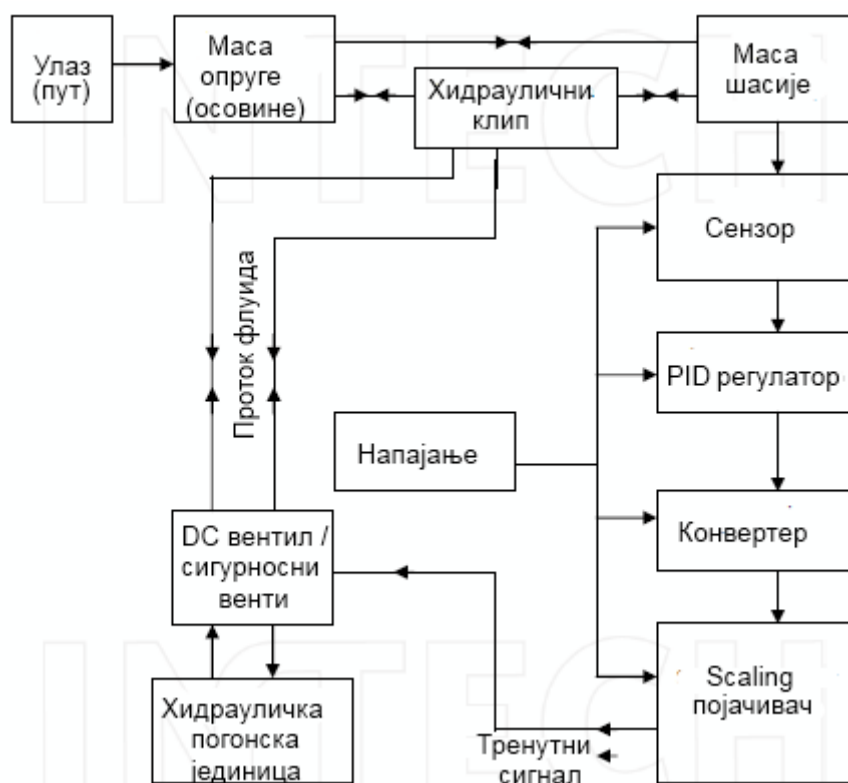
- овај СЕО има висок степен пригушења динамичких осцилација,
- једноставна конструкција и једноставан начин контроле система,
- промена крутости система и подесивост висине возила („клиренса“),
- перформансе система ослањања возила могу се побољшати увођењем активних елемената (актуатора, сензора и микрорачунара) [30].

Недостаци:

- фреквентни опсег $2 \div 5$ Hz (максимално),
- ниска ефикасност система (неопходан континуирани притисак да се постигне пропусни опсег),
- загађење животне средине у случају оштећења (хидрауличке течности су токсичне),
- повећана маса СЕО и неопходан већи простор за уградњу [30].

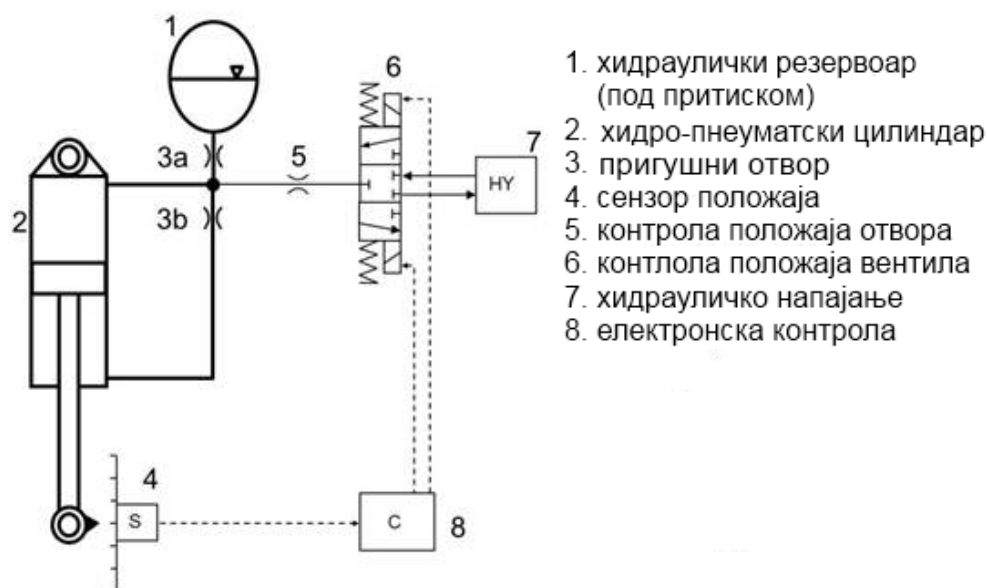
Блок шема контролног хидрауличног система који се користи за управљање системом активног ослањања је приказан на слици 6.2. У циљу развијања систем активног ослањања, користе се следеће хидрауличке компоненте:

- извор хидрауличке течности под притиском,
- сигурносни вентил за контролу притиска течности и контролни вентил,
- хидраулички цилиндар (активни погон) за конверзију притиска без опруге [31].



Слика 6.2 – Блок шема активног хидрауличног система ослањања

Возила изложена честим променама оптерећења и возила високе класе имају контролисан систем ослањања, где се контролише ниво оптерећења, пригушење динамичких сила насталих услед неравнина пута, као и ниво (нивелација) сва четири ослоњена краја возила. У многим случајевима примењује се хидро – пнеуматско ослањање, односно систем који се састоји од хидрауличног резервоара под притиском, хидро – пнеуматског цилиндра, као и система контроле – сензора (сл. 6.3).



Слика 6.3 – Шема активног хидро – пнеуматског система [31]

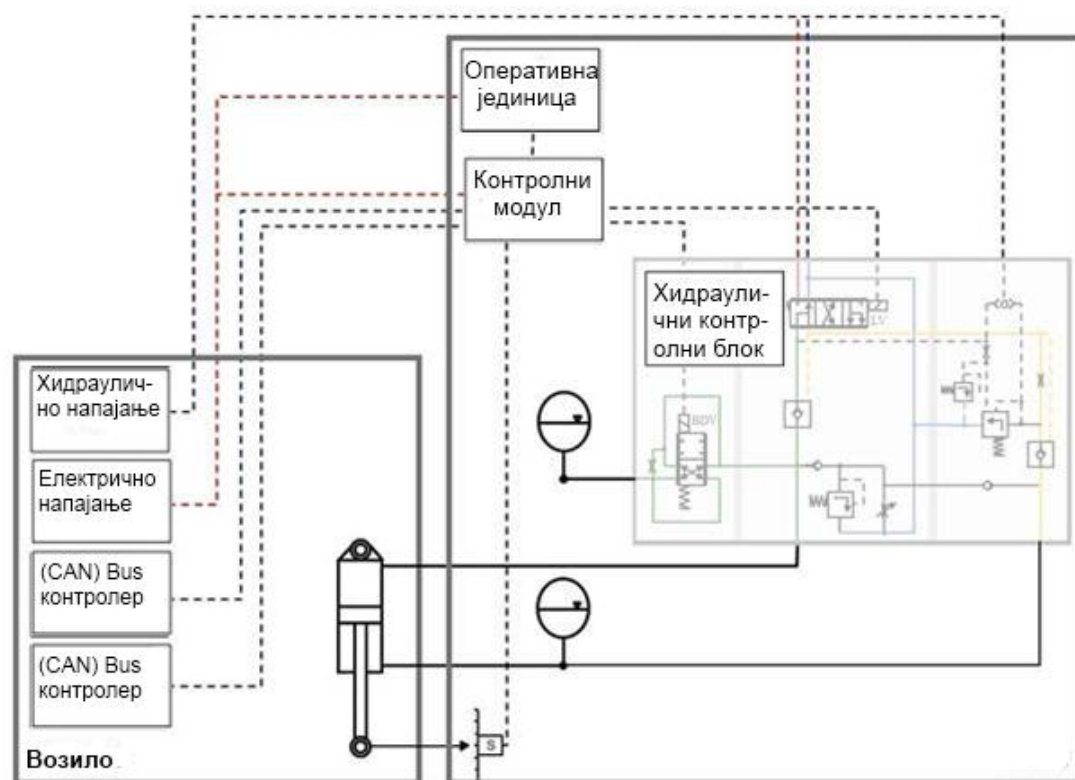
Дакле, да би се уклонили недостаци и унапредила технологија хидро – пнеуматских система ослањања, смањили трошкови развоја и време уводе се слећи услови који хидро – пнеуматски системи активног ослањања морају да испуне:

1. морају бити стандардизовани, модуларни системи контроле за хидро – пнеуматско ослањање морају да садрже стандардизоване хидрауличке и електронске компоненте.
2. једноставно прилагођавање система за потребама возача, једноставним избором одговарајућих модула и подешавања параметара.
3. техничку помоћ и подршку у погледу распореда укупног система ослањања и њену интеракцију са возилом [31].

Након испуњења ових услова хидро – пнеуматски СЕО имају следеће предности:

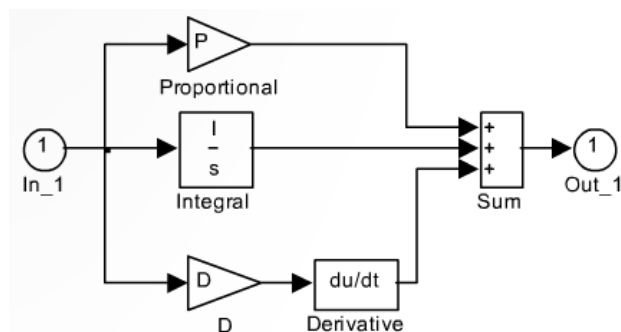
1. прототипски системи су доступни врло брзо у стандардизованим верзијама,
2. стандардни модули који су прилагођени за одређену апликацију могу се користити као серија производног решења у малим и средњим количинама,
3. специфични захтеве који се односе на простор за инсталацију хидро – пнеуматског СЕО могу бити прорачунати и на основу прототипа [31].

Модуларни систем контроле хидро – пнеуматског СЕО је повезан са електронском управљачком јединицом, како што је приказано на слици 6.4. Електронска јединица је командни и контролни центар, она координира и регулише све функције хидрауличног цевовода. Потребни улазни подаци на основу којих електронска управљачка јединица „доноси одлуке“ су обезбеђени од стране различитих сензора на возилу.

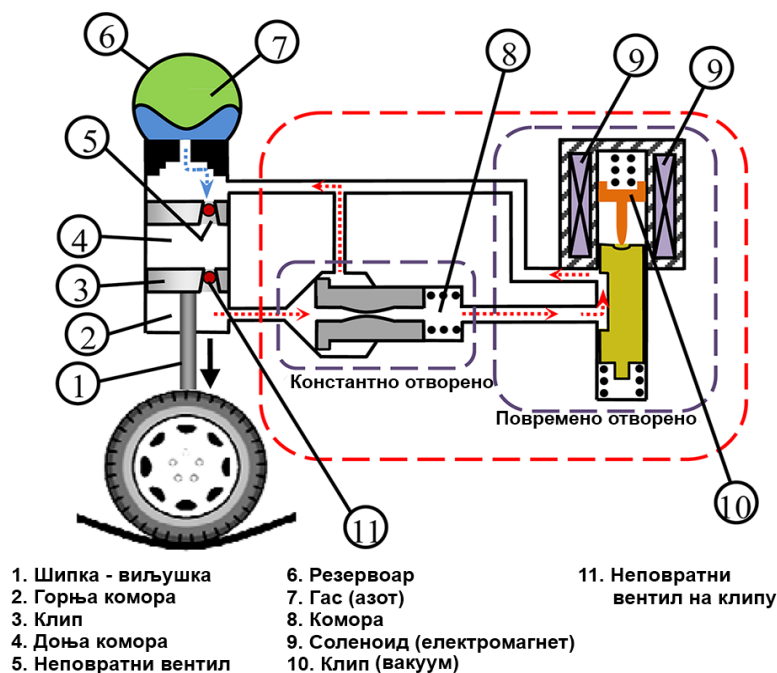


Слика 6.4 – Модуларни систем контроле хидро – пнеуматског ослањања [31]

Што се тиче масе возила, потрошње горива и трошкова уградње и одржавања, систем хидро – пнеуматског активног ослањања је погодан избор за побољшање возила удобност вожње уз задржавање повољних вучних карактеристика возила и подешавање система од стране возача. При избору сензора неопходно је утврдити: број сензора који је неопходно поставити, положај на возилу и тип сензора. Одабир сензора се односи на избор измерених варијабли (излаза). Избор излаза може да ограничи перформансе, а такође утицати на поузданост и сложеност система контроле. Понашање система је под контролом пропорционално – интегрално – диференцијалног контролера (PID – proportional – integral – differential). Добијени резултати након испитивања указују на ефикасност система контролисаног хидро – активног ослањања у поређењу са пасивним СЕО. На слици 6.5 приказан је блок дијаграм PID регулатора – контролера, док је на слици 6.6 шематски приказано хидро – пнеуматско активно ослањање путничког возила [9].

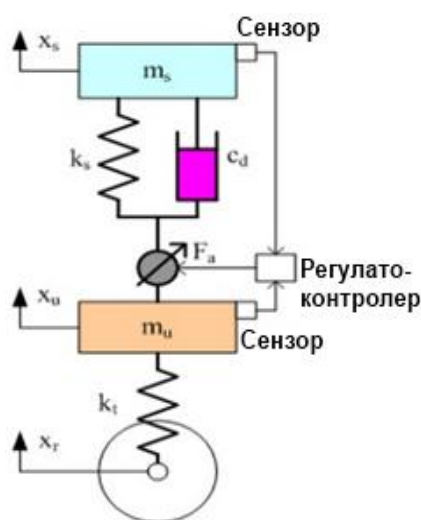


Слика 6.5 – Блок дијаграм PID регулатора – контролера [9]

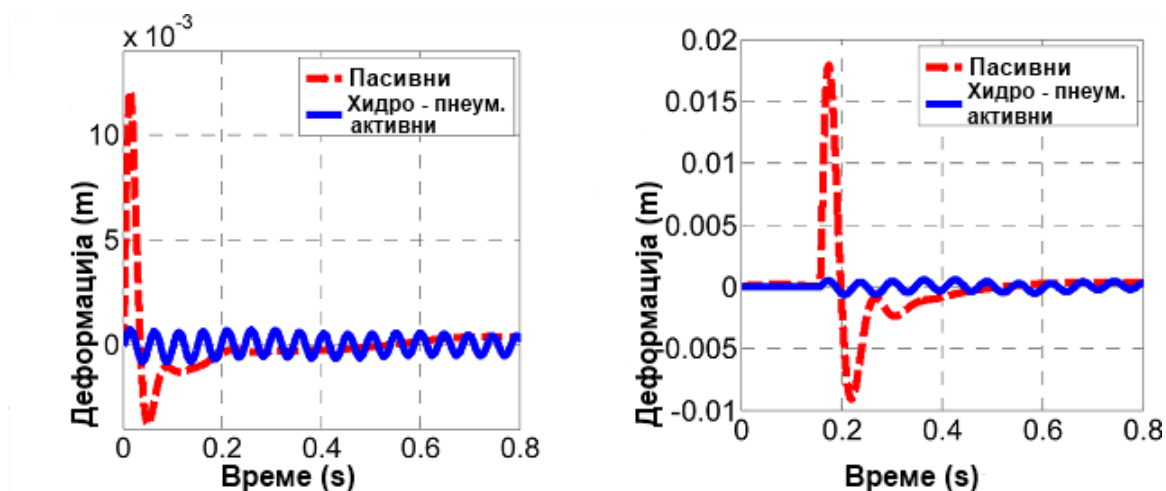


Слика 6.6 – Шематски приказ хидро – пнеуматског активног ослањања путничког возила [32]

На слици 6.7 дат је приказ модела ослоњене масе код хидро – пнеуматског активног СЕО. Вертикална померања ослоњене масе путничког возила са хидро – пнеуматским активним СЕО су мања у односу на пасиван систем (сл. 6.8). Другим речима, возило са активним системом обезбеђује бољу осцилаторну удобност. Треба нагласити да промена деформације пнеуматика за пасиван систем има израженији осцилаторни карактер.



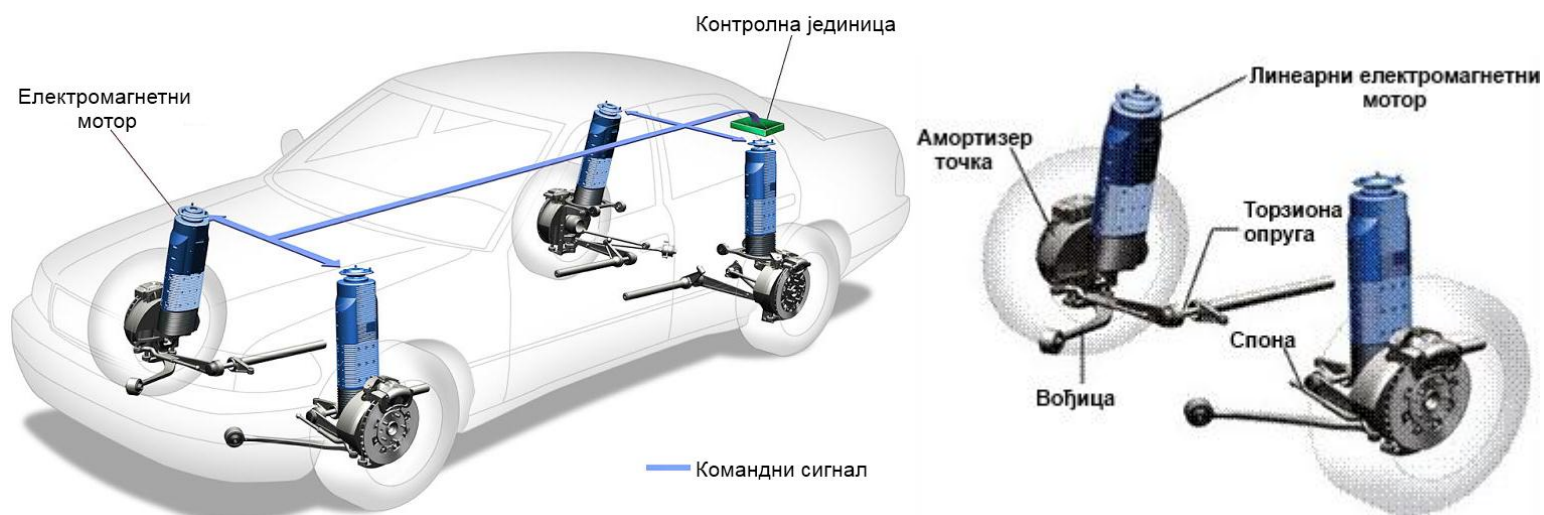
Слика 6.7 – Модел 1/4 ослоњене масе возила са хидро – пнеуматским СЕО (m_s – ослоњена маса возила (1/4 каросерије), m_u – неослоњена маса возила (точка), k_s – екивалентна крутост (каросерије), k_t – екивалентна крутост (точка), c_d – коефицијент пригушења, F_a – сила којом делује хидраулички актуатор, x_s – вертикална вибрација ослоњене масе и одговарајуће брзине, x_u – вертикална вибрација неослоњене масе и одговарајуће брзине, x_r – случајна функција побуде пута и њене брзине) [33]



Слика 6.8 – Упоредне деформације пасивног и хидро – пнеуматског активног СЕО путничког возила – Лево: на предњој осовини, Десно: на задњој осовини [32]

6.2. Електромагнетни СЕО

Најновији систем еластичног ослањања путничких возила уместо опруга и амортизера на сваком крају аутомобила, користи линеарне електромагнетне моторе и појачаваче снаге. Када појачавач снаге напаја калеме мотора, мотор подиже и спушта вешање и на тај начин управља кретањем између точкова и каросерије возила. Линеарни електромагнетни мотор реагује веома брзо на побуду и обавља задатке који су раније били резервисани за амортизере. На слици 6.9 приказан је линеарни електромагнетни СЕО код путничког возила.



Слика 6.9 – Линеарни електромагнетни СЕО [34]

При уласку у кривину систем еластичног ослањања одржава возило стабилним, при кретању одређеном брзином. У овој ситуацији карактеристике СЕО се разликују што се одражава и на стабилност возила, на слици 6.10 приказана су путничка возила при уласку у кривину са стандардним ослањањем са амортизером и линеарним

електромагнетним ослањањем. Јасно се уочава разлика у стабилности возила која иде у прилог линеарном електромагнетном ослањању [7, 34].



Слика 6.10 – Реакције возила при уласку у кривину: а) стандардан систем ослањања са амортизером, б) са линеарним електромагнетним ослањање [7]

На слици 6.11 су приказана осцилаторни модели ослоњене масе за линеарно електромагнетно активно ослањање возила фирме BOSE (САД) и активни систем електромагнетног ослањања (TU/e - SKF).

Систем електромагнетног активног ослањања је још увек у фази испитивања, а испитивање је вршено у лабораторијским и путним условима на путничком возилу BMW 530i. Представници Универзитета за технологију из холандског града Ајндховена су представили истраживање које је њихова институција извршила везано за нови тип електромагнетног ослањања код возила [30].

Универзитет је сада представио и нешто више детаља о технологији која је коришћена овом приликом. Они тврде да поменута технологија омогућава за 60% бољи квалитет вожње у односу на постојећа решења. Ослањање универзитета из Ајндховена није само електромагнетно, већ и механичко што значи да не реагује само механички на неравнине на путу, већ је контролисано путним рачунаром. Рачунар прима улазне информације од акцелерометара и других сензора, а возило подешава ослањање у сагласности са параметрима у року од једне секунде.

Обзиром да активно ослањање није ново, оно је претходно било махом интегрисано у хидрауличке системе. Према истраживачима из Ајндховена, хидраулика не може да реагује брзо као електромагнетни систем па не може ни да обезбеди одговарајућу удобност при вожњи.



Слика 6.11 – Осцилаторни модели ослоњене масе за линеарно електромагнетно ослањања возила (BOSE) и активни систем електромагнетног ослањања (TU/e - SKF) [30]

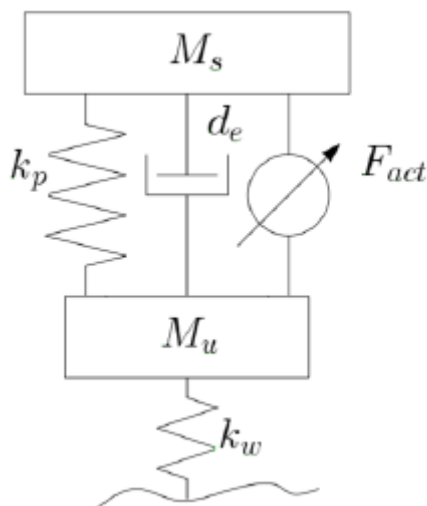
Предности:

- Побољшане динамичке карактеристике (фреквентни опсег > 100 Hz),
- контрола сила, убрзања, брзине и позиције возила,
- могућност акумулирања енергије са сва четири краја возила током активирања система, тј. стварања кинетичке енергије и
- потребан је мањи простор за уградњу додатних компоненти система у возилу [30].

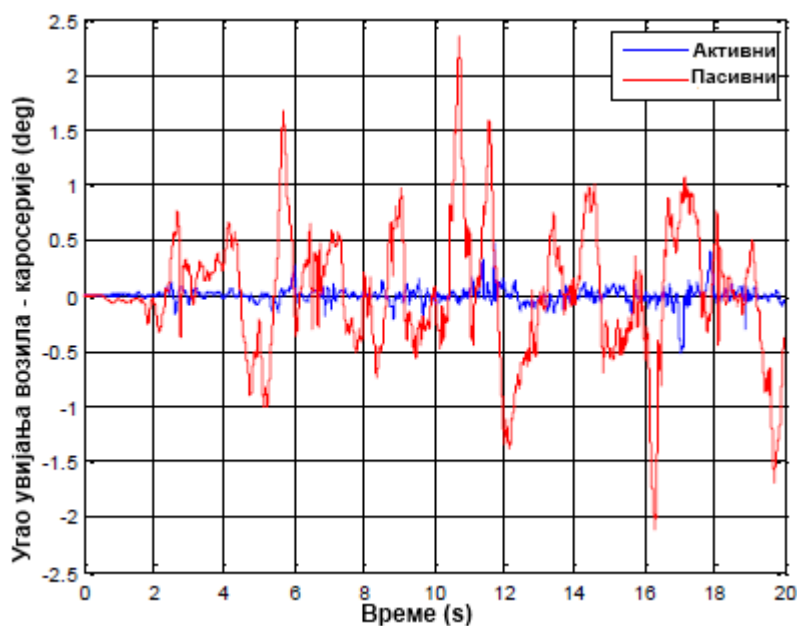
Недостаци:

- врло компликован систем који се састоји од властите контролне јединице и електромотора
- потребни су сензори позиција (за ублажавање вибрација и нормално функционисање система),
- трошкови израде система расту због специфичних материјала,
- нова технологија (још није прихваћена) [30].

На слици 6.12 приказан је модел са $\frac{1}{4}$ ослоњене масе возила BMW 530i. При испитивању возила коришћен је стабилизаторски регулатор (anti – rollcontroller) који је дао знатно бољу стабилност возилу при заокретању, што је графички приказано на слици 6.13.



Слика 6.12 – Модел 1/4 ослоњене масе возила са електромагнетним CEO (M_s – ослоњена маса возила (1/4 каросерије), M_u – неослоњена маса возила (точка), k_p – еквивалентна крутост (каросерије), k_w – еквивалентна крутост (точка), c_d – коефицијент пригушења, F_{act} – сила којом делује хидраулички актуатор) [30]



Слика 6.13 – Угао увијања (стабилизације) код пасивног CEO и електромагнетног CEO возила BMW 530i са стабилизаторским (anti – rollcontroller) регулатором [30]

6.3. Динамичко ослањање возила

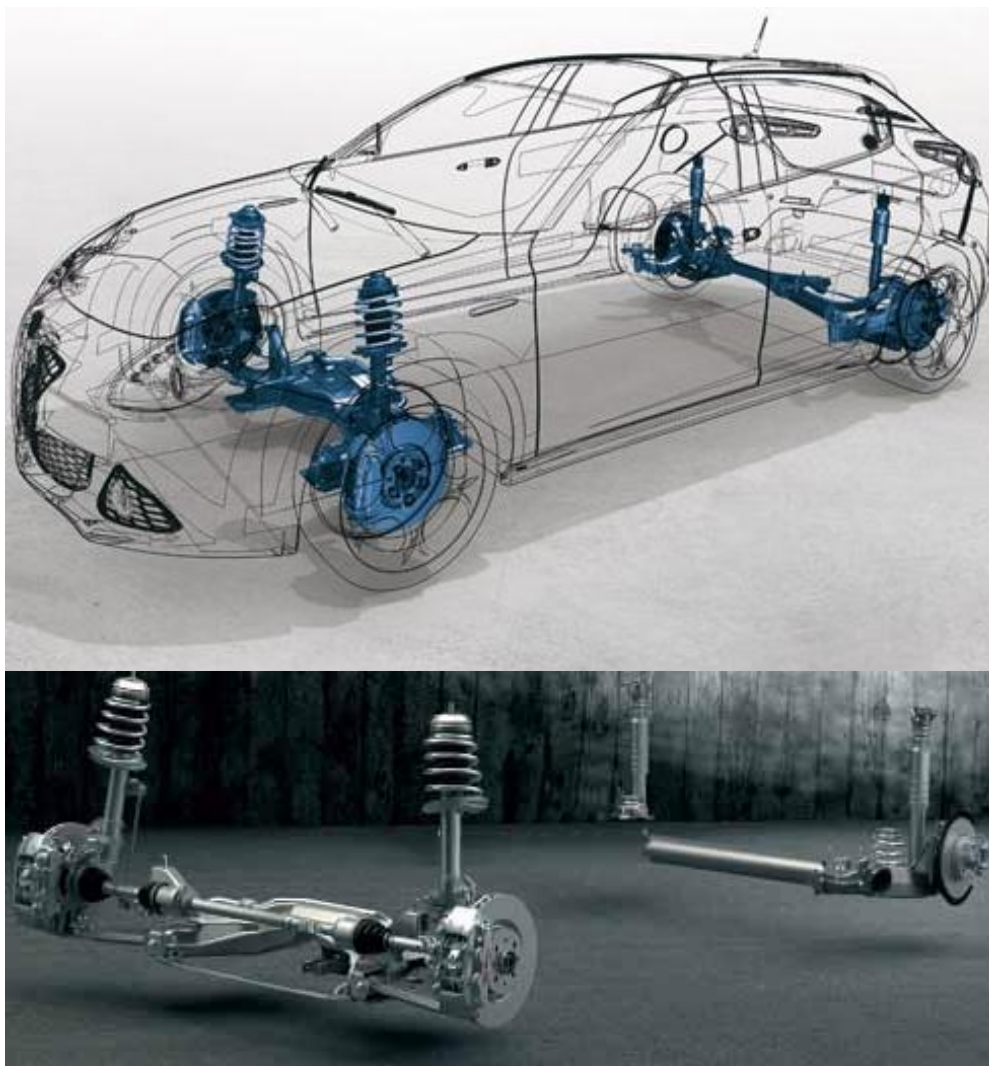
Представља систем контроле амортизера, „еволуиран“ тако да активно и континуирано мења „одговор“ шасије у зависности од услова на путу и потреби возача. Возач добија три погодности од динамичког система ослањања: удобност, безбедност и агилност. Пре свега, електрични амортизери адаптирају се условима пута и контролишу све покрете возила. Ово гарантује максималну удобност и омогућава да неравнине на површини пута буду потпуно апсорбоване. Поред тога, динамички систем СЕО увек обезбеђује максимално пријањање и безбедност тако што активно реагује на све услове пута. Из разлога што су бочно нагињање и скретање више редуковани у свим условима, боља је и стабилност самог возила [35]. Овај систем активног ослањања је примењен на возилима произвођача Alfa Romeo, а између осталог и на возилу Alfa Romeo Mito (сл. 6.14).

Информације које потичу од сензора постављених на два предња точка се прате како би се идентификовала присутност препреке, прилагодили амортизери, минимализовали отпори, а пријањање довело до максимума. Кретање тела се контролише тако што се минимизира бочно нагињање и скретање, и на тај начин се побољшава осећај управљања, пријањање, стабилност и контрола. Информације које потичу од сензора постављених на два предња точка се обрађују како би се идентификовале неравнине на површини пута, прилагодили амортизери и побољшала и удобност и пријањање. Систем усклађује своје податке са подацима које прима од ABS (Anti – lock braking system) и VDC (Vehicle Dynamics Control System) система како би побољшао перформансе амортизера гарантујући максималну удобност и безбедност [35].

Систем динамичког ослањања има савршену интеракцију са три различите контролне стратегије Alfa DNA система како би гарантовао:

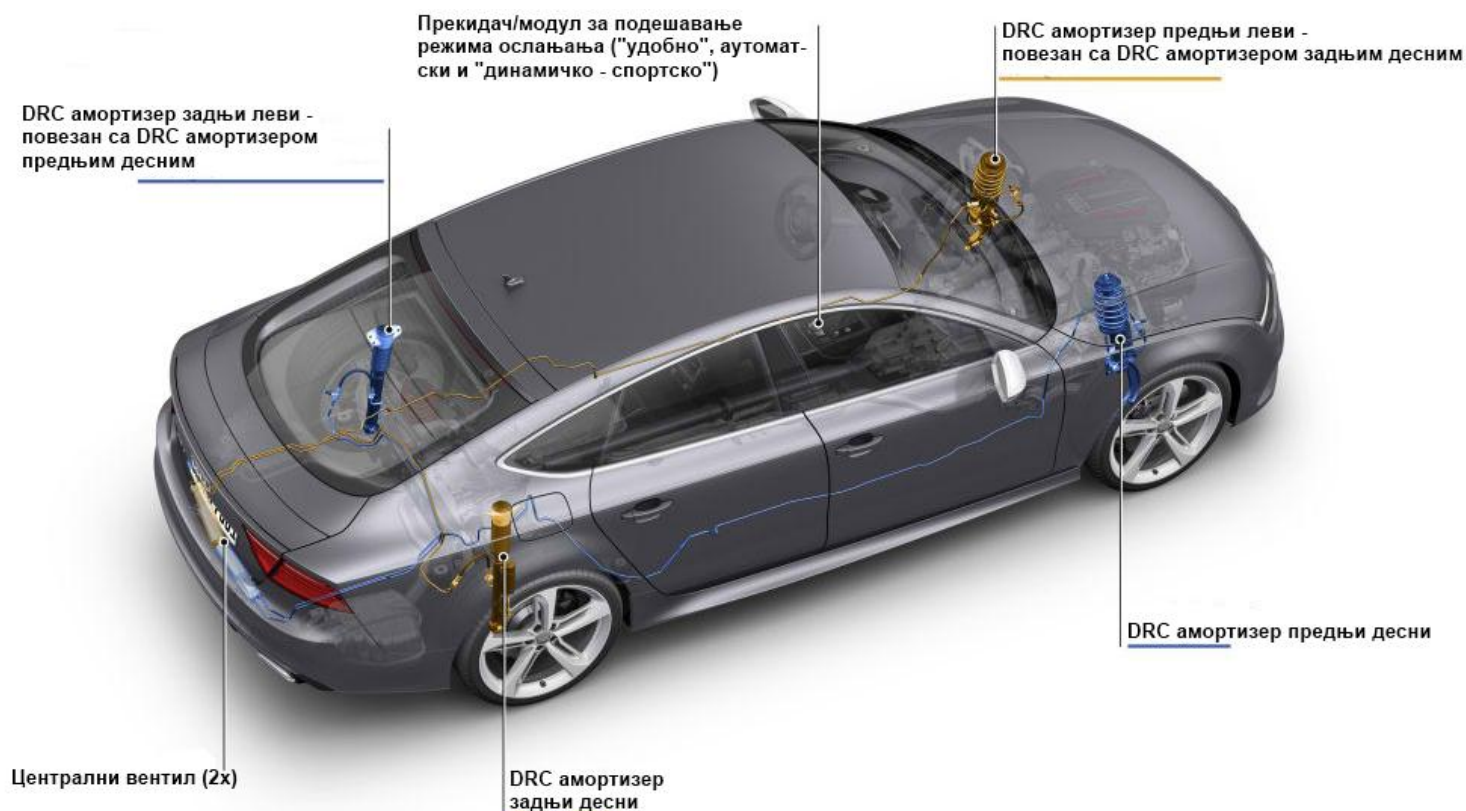
- више спортски стил управљања (Dynamic),
- више удобности (Normal),
- више безбедности (Allweather) [35].

Mito је био прво возило Alfa Romea опремљено са Alfa DNA системом, иновативним уређајем који делује на главне параметре при вожњи (реакцију мотора, контролу стабилности и помоћ при окретању волана) прилагодивши личност аутомобила потребама возача и различитим стањима на путевима. Alfa DNA систем делује на мотор, кочнице, точак управљача, ослањање и мењач, омогућујући три различита типа понашања возила, у зависности од најадекватнијег стила вожње који возач одабере у складу са стањем на путу: суперспортски режим рада, урбани и нормални режим рада; и максимална безбедност чак и при лошем пријањању гума на пут, другим речима, AllWeather режим рада [35].



Слика 6.14 – Динамичко ослањање код путничког возила *Alfa Romeo Mito* [35]

Audi RS 7 (2015) је најновији ауто који користи динамичко ослањање, тј. хидраулички „умрежени“ CEO, који је Audi назвао DRC – „DynamicRideControl“. Док конвенционални CEO користе опружене челичне стабилизаторе, овде је примењена хидраулички систем, који у тренутку настанка момента увијања кроз систем шаље течност – уље на супротну страну аутомобила и на тај начин обезбеђује правилну геометрију точкова и самог возила при заокретању. Тако су избегнуте велике стабилизационе опруге и смањена маса аутомобила. Возила код којих се тражи најбољи компромис између перформанси и управљања користе неку верзију овог система ослањања. Хидраулички систем са унакрсним повезивањем, као код овог возила, није савршен, али је најбољи могући који се за сада примењује код потпуно активног CEO [36]. На слици 6.15 дат је приказ динамичког CEO код спортског модела возила Audi RS 7.



Слика 6.15 – Динамичи СЕО код спортског модела возила Audi RS 7 [36]

6.4. Препоруке при избору СЕО

При избору конструктивних параметара СЕО треба имати у виду следеће чињенице:

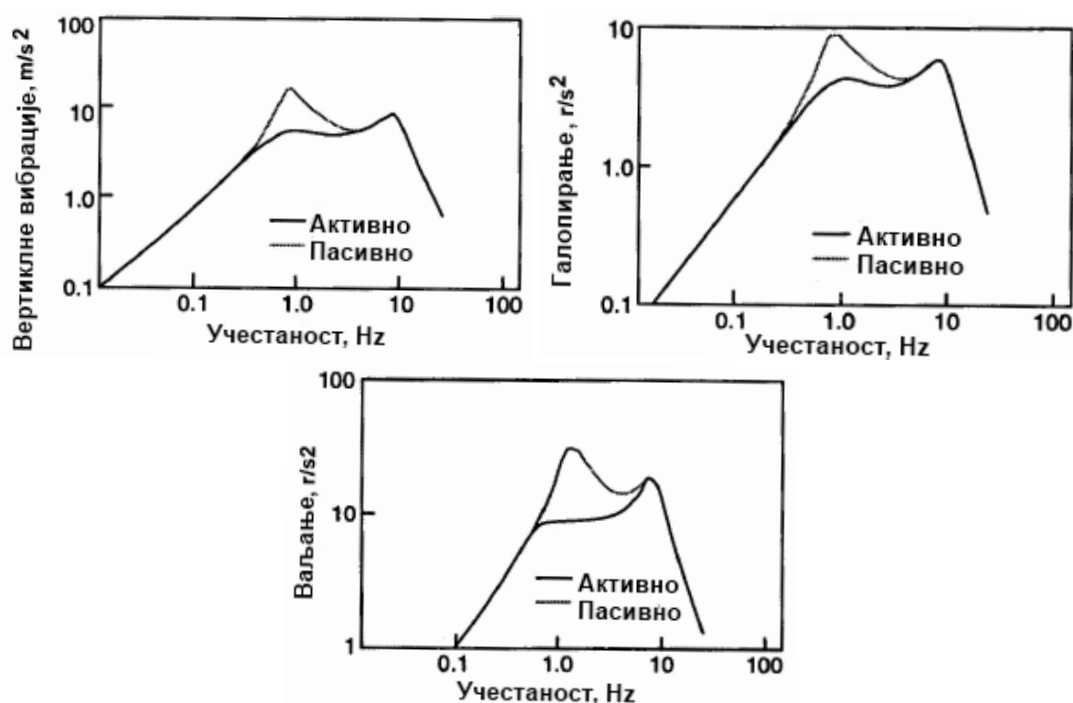
- класу аутомобила (из тога следи опредељење за класични, хидропнеуматски или са регулисаним карактеристикама),
- оптималну вредност сопствене учестаности у зависности од статичког угиба (1,0 -1,5 Hz за ослоњену и 11÷15 Hz за неослоњене масе) и потребну величину динамичког хода,
- оптимално пригушење осцилација ослоњених и неослоњених маса,
- задовољавајуће кинематске карактеристике аутомобила у целини и тачкова - посебно,
- поуздано преношење сила и момената у свим условима кретања аутомобила,
- максимално искоришћење габарита аутомобила итд [1].

При пројектовању СЕО се чини компромис између:

- осцилаторне удобности,
- управљивости и
- потребног простора за уградњу.

При опредељењу за тип, треба имати у виду основне карактеристике, које СЕО поседују. У табели 6.1. дате су упоредне карактеристике најчешће коришћених СЕО. Поред ових, корисно је имати у виду и упоредне карактеристике приказане на слици 6.16.

Табела 6.1 – Упоредне карактеристике појединих СЕО [1]						
Тип система	Понашање током маневра	Висина аутомобила	Ваљање каросерије	Галопирање при кочењу	Галопирање при убрзању	Динамичка реакција тла
Пасиван	Перформансе су компромис између свих параметара за оцену					
Са самонивелацијом	Висока	Висока	-	-	-	-
Полуактивно	Средња	-	Ниска	Ниска	Ниска	Средња
Активно	Висока	Висока	Висока	Висока	Висока	Висока



Слика 6.16 – Упоредне карактеристике пасивног и активног система ослањања [1]

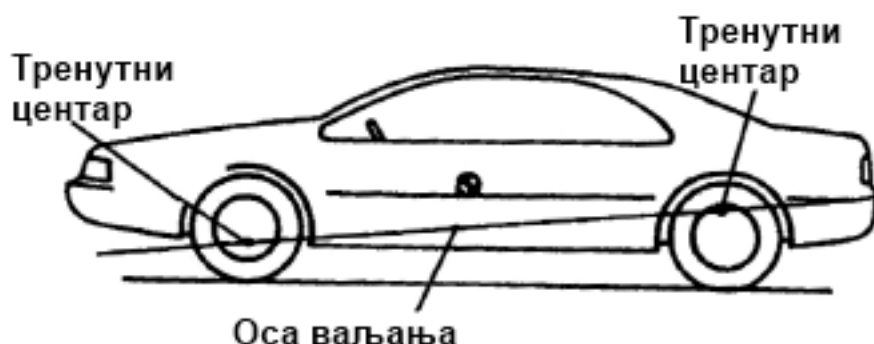
Положаји тренутних центара предњег и задњег СЕО дефинишу осу ваљања (слика 6.17). Очигледно је да се тежиште аутомобила не налази на оси ваљања (или се не може увек налазити због осциловања аутомобила, промене оптерећења и сл.), па се при избору параметара система за ослањање о томе мора водити рачуна, јер то утиче на стабилност и осцилаторну удобност аутомобила.

У току анализе вибрација аутомобила често је корисно познавати положај тзв. „центра еластичности“, који нема значај као тренутни центри или оса ваљања. Међутим, он је ипак значајан за параметре аутомобила. Под „центром еластичности“ подразумевамо тачку која има следеће особине.

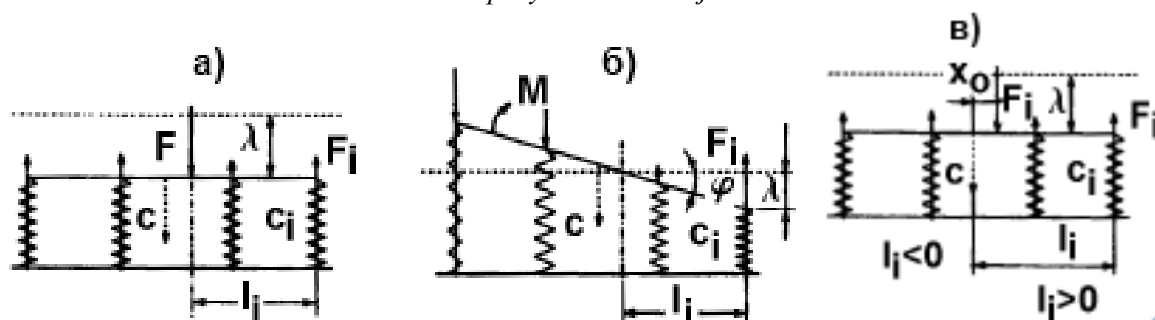
- ако у њој делује концентрисана вертикална сила, шасија аутомобила ће се померити само у вертикалном правцу (слика 6.18а) и
- када на шасију аутомобила делује само момент онда ће се она окренути за неки угао око осе која пролази кроз ту тачку (слика 6.18б) [1].

Претпоставимо да у центру еластичности делује сила као што то показује слика 6.18в.

У пракси постоје његове различите варијанте, а једна од чешће коришћених заснива се на тежњи да се положаји резонантних учестаности делова људског тела и посматраних подсистема аутомобила међусобно не поклапају.



Слика 6.17 – Тренутни положај осе ваљања



Слика 6.18 – Илустрација за центар еластичности аутомобила [1]

На основу вишегодишњег искуства и егзактног истраживања утицаја вибрација на човека, препоручује се да се при избору осцилаторних параметара аутомобила, резонантне учестаности налазе у границама датим у табели 6.2.

Табела 6.2 – Резонантна учестаност појединих маса код путничких возила [1]	
Део возила:	Резонантна учестаност, Hz
Точкови	12÷16
Еластично ослоњена маса	1÷1,5
Погонска група	9÷11
Седишта	1,6÷2,5

Користећи Њутнов закон можемо написати диференцијалне једначине вертикалних вибрација концентрисаних маса око равнотежних положаја у облику [1]:

$$\begin{aligned}
m\ddot{z} + k\dot{z} + cz &= k\dot{z}_p + cz_p \\
m\ddot{z}_p + (k + k_p)\dot{z}_p + (c + c_p)z_p - k\dot{z} - cz &= c_p z_0 + k_p \dot{z}_p
\end{aligned}
\quad (6.1)$$

где су:

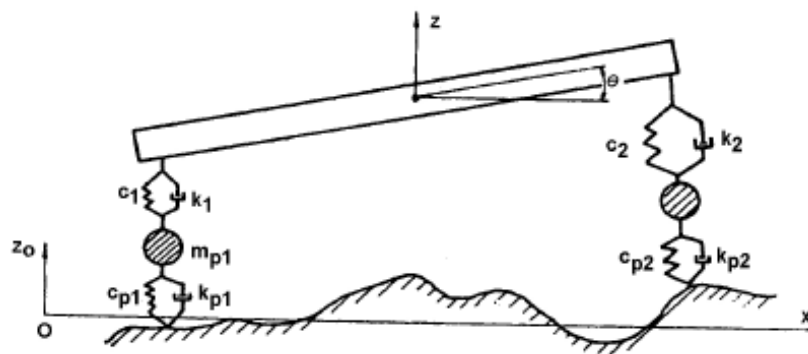
z_0 и $\dot{z}_0$ – случајна функција побуде пута и њена брзина,
 z_p и $\dot{z}_p$ – вертикалне вибрације неослоњене масе и одговарајуће брзине, а
 z и $\dot{z}$ – вертикалне вибрације ослоњене масе и одговарајуће брзине.

На основу диференцијалних једначина (6.1) које описују осцилације усвојеног модела аутомобила, можемо одредити приближне вредности сопствених фреквенција ослоњене и неослоњене масе [1]:

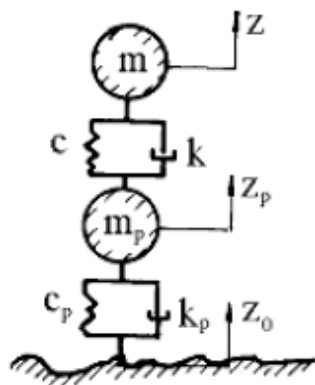
$$f = \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{c}{m}} \quad (6.2)$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{c + c_p}{m_p}} \quad (6.3)$$

Имајући у виду препоручене резонантне учестаности из табеле 6.2 и претходне изразе, можемо израчунати оријентационе вредности еквивалентних крутости опруга за карактеристична тежинска стања аутомобила. После усвајања одговарајућих крутости, врши се провера статичких угиба опруга који треба да се налазе у интервалу 100÷250 mm. Распodelу крутости по осовинама могуће је извршити на различите начине. Препоручује се да крутости буду сразмерне припадајућим деловима ослоњене масе по осовинама (за потпуно оптерећен аутомобил), при чему треба тежити хоризонталности конструкције аутомобила. Крутости пнеуматика зависе од врсте, димензија, носивости и притиска ваздуха у њима. Због тога се не бира, већ је последица неопходне носивости пнеуматика. Да би се дефинисала оријентациона вредност крутости и пригушења СЕО, при пројектовању аутомобила осцилаторни систем се посматра упрошћено, као што је приказано на слици 6.19. При томе се наглашава да се овај поступак примењује код дефинисања параметара како класичних, тако и **полуактивних** и **активних** СЕО. Еквивалентни осцилаторни модел аутомобила за анализу вертикалних осцилација око равнотежног положаја дат је на слици 6.20. (m је ослоњена, а m_p неослоњена маса путничких возила) [1].



Слика 6.19 – Осцилаторни модел аутомобила[1]



Слика 6.20 – Еквивалентни осцилаторни модел путничког аутомобила [1]

Приближне величине потребних пригушења у амортизерима бирају се из услова апериодичности осцилација, а према изразу [1]:

$$k = (0,2 \div 0,35)\sqrt{mc} \quad (6.4)$$

где су:

c – еквивалентна крутост опруга, а

m – величина припадајуће ослоњене масе.

Нека конструктивна решења СЕО имају и стабилизаторе. Потребна торзиона крутост стабилизатора израчунава се, приближно, из услова дозвољеног угла ваљања ослоњене масе, према формули [1]:

$$c_{st} = \frac{180F_c H}{\beta \pi} 2(c_1^2 + c_2^2) \quad (6.5)$$

где су:

F_c – центрифугална сила (усваја се $0,4G$),

H – вертикално растојање од осе ваљања до тежишта (приближно се може узети да је једнако растојању тежишта од ушица гибњева),

c_1 и c_2 – еквивалентне крутости опруга предњег и задњег система за ослањање, а

β – допуштени угао ваљања ослоњене масе (највише $3 \div 5^\circ$).

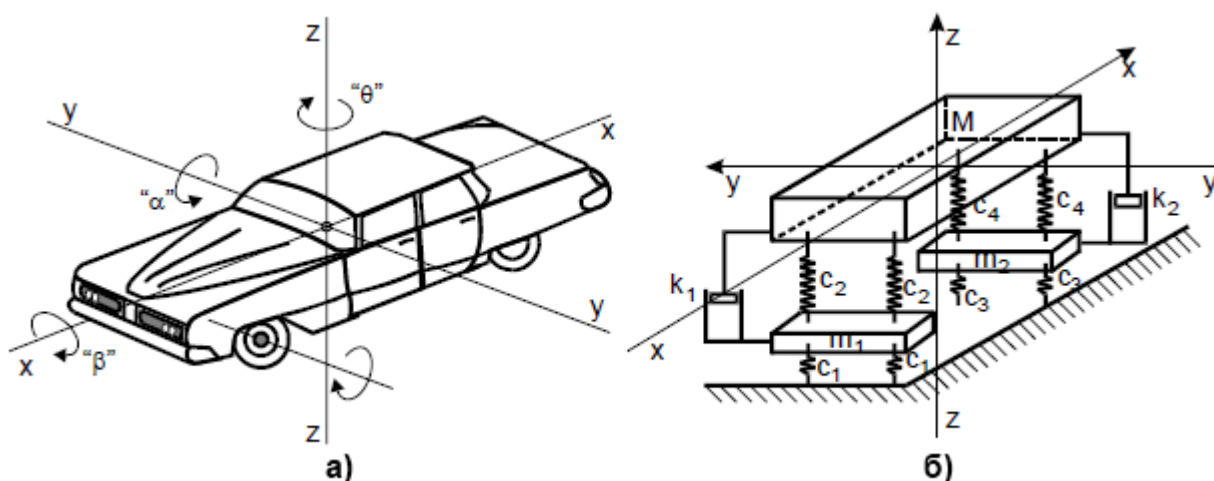
За одређивање потребних крутости и пригушења у СЕО, пнеуматичима, седиштима и систему за ослањање погонске групе аутомобила постоје и друге методе. Један од модернијих прилаза је заснован на теорији оптимизације, а у литератури познат под појмом „стохастичке параметарске оптимизације“.

Треба напоменути да се у случају коришћења **полуактивних** или **активних** система ослањања аутомобила, погонске групе или седишта, препоручује да се они не пројектују од самог почетка, већ да се о томе консултују специјализовани произвођачи [1].

7. Моделирање осцилаторног понашања активног СЕО

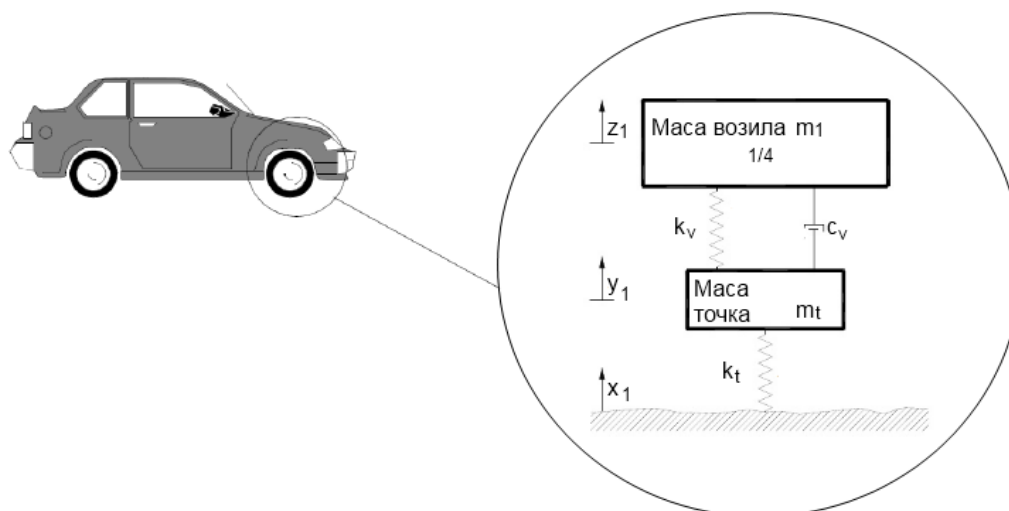
Систем еластичног ослањања моторног возила, је онај механизам који остварује еластичну везу између основне конструкције моторног возила као ослоњене масе и осовине са точковима као неослоњене масе. Због спољних утицаја, услова експлоатације који долазе од карактера подлоге пута и режима вожње моторног возила, долази до појаве спољног поремећаја равномерном кретању основне конструкције. Овај поремећај може утицати на праволинијско и угаоно померање основне конструкције, три транслације по x , y , z оси и три ротације око x , y и z осе како је то показано на слици 7.1.

Наведене осцилације према слици 7.1 имају и своје стандардне називе: вертикалне осцилације „ z “, уздужне осцилације „ x “, попречне осцилације „ y “, угаоне осцилације око x осе – љуљање „ β “, угаоне осцилације око y осе – галопирање „ α “, угаоне осцилације око z осе – пливање „ θ “. Посматрано моторно возило на овај начин представља чврсту фигуру као једну масу и има шест степени слободе. Ако се жели постићи реалност система моторног возила од случаја до случаја онда се моторно возило представља као веома сложен осцилаторни систем. Тако, нпр. возило на слици 7.1а може се представити преко еквивалентног осцилаторног система са три масе (сл. 7.1). Маса M је маса основне конструкције, а масе m_1 и m_2 су масе предње и задње осовине као неослоњене масе. Крутости еластичних елемената су означене са c_1 , c_2 , c_3 , c_4 , а пригушења су изражена преко коефицијента пригушења k_1 и k_2 [4].



Слика 7.1 – Могућност осциловања основне конструкције моторног возила: а) модел возила са означеним осама осцилације и угаоне осцилације, б) еквивалентни осцилаторни модел са три масе [4]

Претпоставља се да је у равнотежном стању $y_1 = 0$ и $y_2 = 0$, тако да се утицај гравитације може занемарити. На слици 7.2 приказан је модел $\frac{1}{4}$ ослоњене масе путничког возила.



Слика 7.2 – Модел $1/4$ ослоњене масе предњих точкова путничког возила (m_1 – ослоњена маса возила ($1/4$ каросерије), m_2 – неослоњена маса возила (точка), k_v – еквивалентна крутост (каросерије), k_t – еквивалентна крутост (точка), c_v – коефицијент пригушења, z_1 – вертикална вибрација ослоњене масе и одговарајуће брзине, y_1 – вертикална вибрација неослоњене масе и одговарајуће брзине, x_1 – случајна функција побуде пута и њене брзине) [7, 10]

Путне неравнине, x_1 , се моделирају као побуда (излаз из неравнине), точак возила наилази на неравнину пута, како је шематски приказано на слици 7.3.



Слика 7.3 – Наилазак точка на неравнину пута [10]

Механички систем – диференцијалне једначине се изводе из Њутновог закона [10]:

$$m_1 \ddot{z}_1 + c_v(\dot{z}_1 - \dot{y}_1) + k_v(z_1 - y_1) = 0 \text{ (маса аутомобила)} \quad (7.1)$$

$$m_t \ddot{y}_2 + c_v(\dot{z}_1 - \dot{y}_1) + k_v(z_1 - y_1) + k_t(y_1 - x_1) = 0 \text{ (маса точка)} \quad (7.2)$$

Из једначина треба наћи одзив система (деформације, брзине и убрзање маса), могу се одредити из преносне функције система применом методе простора стања и симулацијом – директном интеграцијом једначина применом програма Matlab/Simulink.

Диференцијалне једначине се често користе за опис улазно – излазне везе између самих компонената система. С обзиром на излазну величину x_1 (неравнина пута), дефинишу се две преносне функције од којих једна описује помак – деформацију $G_1(s)$, а друга деформацију точка $G_2(s)$ [10]:

$$G_1(s) = \frac{Z_1(s)}{X_1(s)} \quad (7.3)$$

$$G_2(s) = \frac{Z_1(s)}{X_1(s)} \quad (7.4)$$

На слици 7.4. су шематски приказане улазне и излазне величине – сигнала система, изазване наиласком точка возила на неравнину.



Слика 7.4 – Шема улазног и сигнала при наиласку точка на неравнину пута [10]

Из претходног израза важи да је [10]:

$$G(s) = X_0(s), \quad X_1(s) \quad (7.5)$$

где је:

$X_1(s)$ – трансформација улазног (input) сигнала, нпр. неравнине пута,

$X_0(s)$ – трансформација излазног (output) сигнала, нпр. деформације, брзине, убрзања.

Помоћу Лапласове трансформације се могу динамичке једначине кретања из израза (7.1) и (7.2) се трансформисати у једначине фреквентног домена ($t \rightarrow s$) [10]:

$$m_1 s^2 Z_1(s) + c_v[sZ_1(s) - sY_1(s)] + k_v[Z_1(s) - Y_1(s)] = 0 \quad (7.6)$$

$$m_t s^2 Y_1(s) + c_v[sY_1(s) - sZ_1(s)] + k_v[Y_1(s) - Z_1(s)] + k_t[Y_1(s) - Z_1(s)] = 0 \quad (7.7)$$

Из израза (7.6) и (7.7) следе следећи изрази [10]:

$$(m_1 s^2 + c_v s + k_v)Z_1(s) - (c_v s + k_v)Y_1(s) = 0 \quad (7.8)$$

$$-k_t X_1(s)(m_t s^2 + c_v s + k_v + k_t)Y_1(s) - (c_v s + k_v)Z_1(s) = 0 \quad (7.9)$$

Претпоставља се да су сви почетни услови једнаки нули, тј. једначине представљају случај када аутомобил излази из удубљења на путу.

Једначине у матричном облику гласе [10]:

$$\begin{bmatrix} m_1 s^2 + c_v s + k_v & -(c_v s + k_v) \\ -(c_v s + k_v) & m_t s^2 + c_v s + k_v + k_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1(s) \\ Y_1(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ k_v X_1(s) \end{bmatrix} \quad (7.10)$$

Решење једначина (Z_1 и Y_1 изражени помоћу X_1) [10]:

$$\begin{aligned} Z_1(s) &= \frac{k_t(c_v s + k_v)X_1(s)}{m_1 m_t s^4 + c_v(m_1 + m_t)s^3 + [k_t m_1 + k_v(m_1 + m_t)]s^2 + c_v k_t s + k_t k_v} = \\ &= \frac{k_t(c_v s + k_v)}{\Delta} X_1(s) \end{aligned} \quad (7.11)$$

$$Y_1(s) = \frac{k_t(m_1 s^2 + c_v s + k_v)X_1(s)}{m_1 m_t s^4 + c_v(m_1 + m_t)s^3 [k_t m_1 + k_v(m_1 + m_t)]s^2 c_v k_t s + k_t k_v} =$$

$$= \frac{k_t(m_1 s^2 + c_v s + k_v)X_1}{\Delta} X_1(s) \quad (7.12)$$

Тражене преносне функције су [10]:

$$G_1(s) = \frac{Z_1(s)}{X_1(s)} = \frac{k_t(c_v s + k_v)}{\Delta} X_1(s) \text{ (возило)} \quad (7.13)$$

$$G_2(s) = \frac{Z_1(s)}{X_1(s)} = \frac{k_t(m_1 s^2 + c_v s + k_v)X_1}{\Delta} X_1(s) \text{ (точак)} \quad (7.14)$$

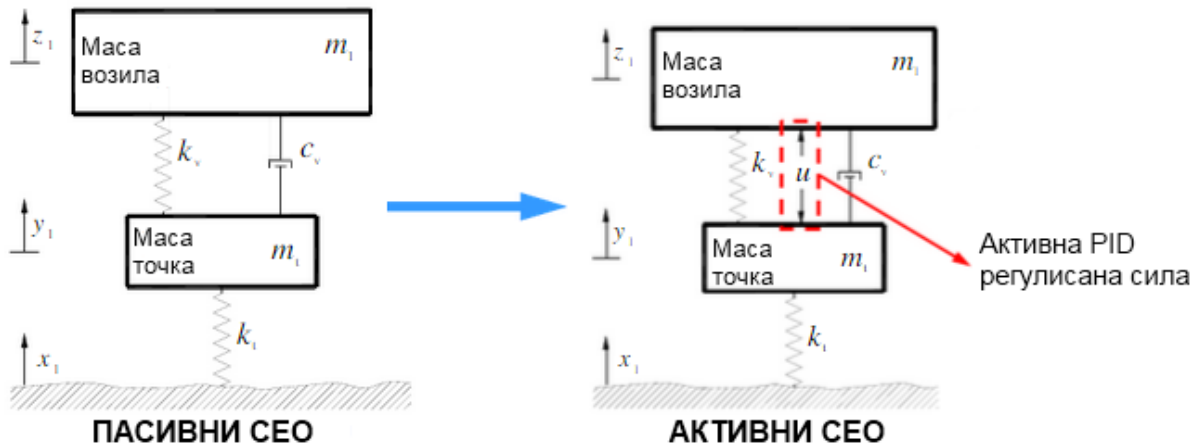
7.1. Одзив активног СЕО – затворени систем (PID регулација)

Врсте СЕО:

1. Пасиван СЕО – класичан систем опруге и амортизера (без регулације). Врши се одабир оних крутости и пригушења којима се постиже повољан одзив система (понашање аутомобила).
2. Полуактивни СЕО (нпр. Skyhook регулатор). Регулација појединих компоненти, нпр. амортизера.
3. Активни СЕО (нпр. PID регулатор). Постојање актуатора (спољне силе) којим се физички утиче на положај СЕО. Поседује сензоре, електронске контролне уређаје који прикупљају информације у стварном времену и исправљају положај система ослањања.

Активни систем ослањања се регулише PID регулатором, којим се уводи спољашња сила која делује на систем и регулише положај маса возила и точкова. Величина која се регулише релативни помак – деформацију масе возила и точкова ($z_1 - y_1$) [10]. На слици 7.5 дати су осцилаторни модели $\frac{1}{4}$ ослоњене масе возила са пасивним и активним СЕО.

Код затвореног система (сл. 7.6), излазна величина се мери и упоређује с референтном величином. Добијена разлика улази у регулатор који исправља грешку између измерене и тражене величине. У случају да су референтна и излазна величина физички различити сигнали, потребно их је претворити у исту физичку величину како би се могле упоредити на компаратору [10]. На слици 7.7 приказан је Simulink модел активног ослањања који се регулише PID регулатором.



Слика 7.5 – Осцилаторни модели $\frac{1}{4}$ ослоњене масе возила са пасивним и активним СЕО [10]



Слика 7.6– Управљање системом ослањања по једном излазу (по деформацији СЕО) [10]

PID регулатор (сл. 7.8) на основу сигнала грешке, $e(t)$, генерише управљачки сигнал, $u(t)$, који делује на објекат управљања (систем ослањања). Сигнал грешке представља разлику излазног сигнала и жељеног одзива система (референтни улаз). Понашање PID регулатора може се описати следећим изразом [9]:

$$(u(t)) = K_P \cdot (e(t)) + K_I \cdot \int_0^t e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (7.15)$$

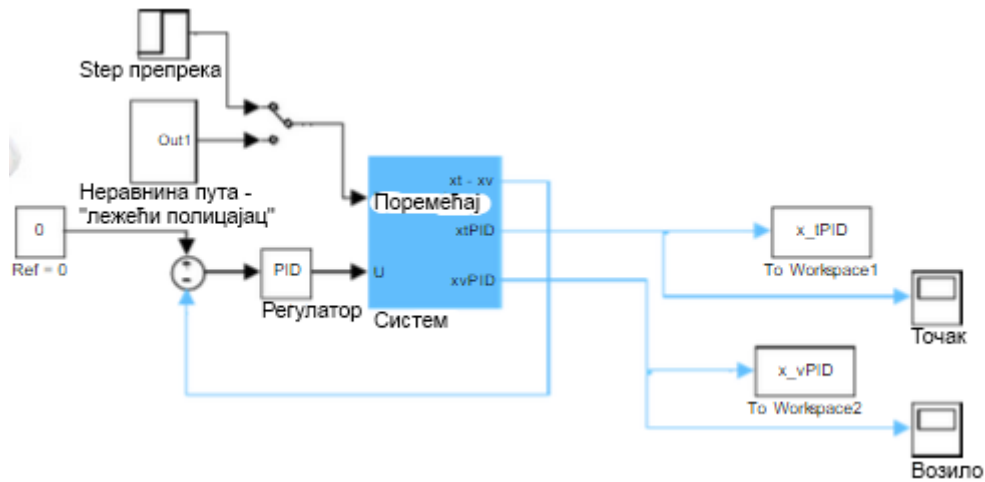
где је:

K_P – коефицијент пропорционалног дејства,

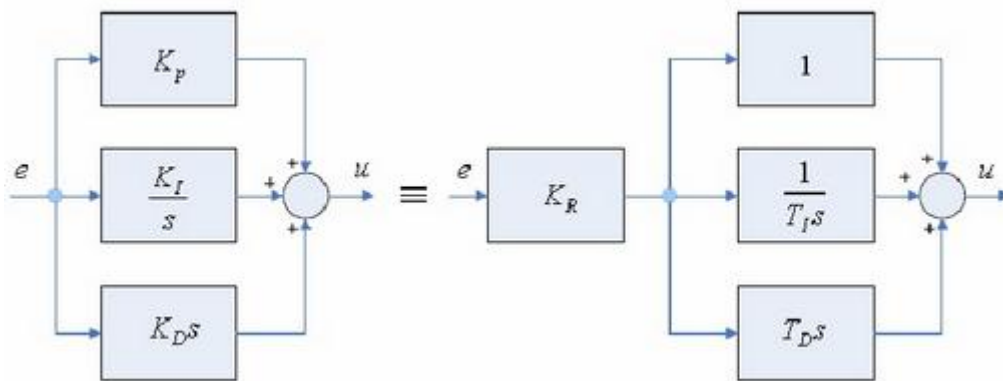
K_I – коефицијент интегралног дејства,

K_D – коефицијент диференцијалног дејства.

Коефицијенти K_P , K_I , K_D представљају подесиве параметре регулатора. Од вредности ових параметара зависе карактеристике промене излаза система. Циљ регулисања деформације система ослањања је постизање мањих карактеристика – малих вредности и краћег времена смирења деформације. Коефицијенти PID регулатора, којим се регулише деформација система ослањања аутомобила су усвојени [9].



Слика 7.7 – Simulink модел активног ослањања који се регулише PID регулатором [10]



Слика 7.8 – Блок дијаграм PID регулатора [10]

Преносна функција таквог регулатора износи [10]:

$$G_C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s = K_R \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (7.16)$$

$$K_P = K_R$$

$$K_I = K_P / T_I$$

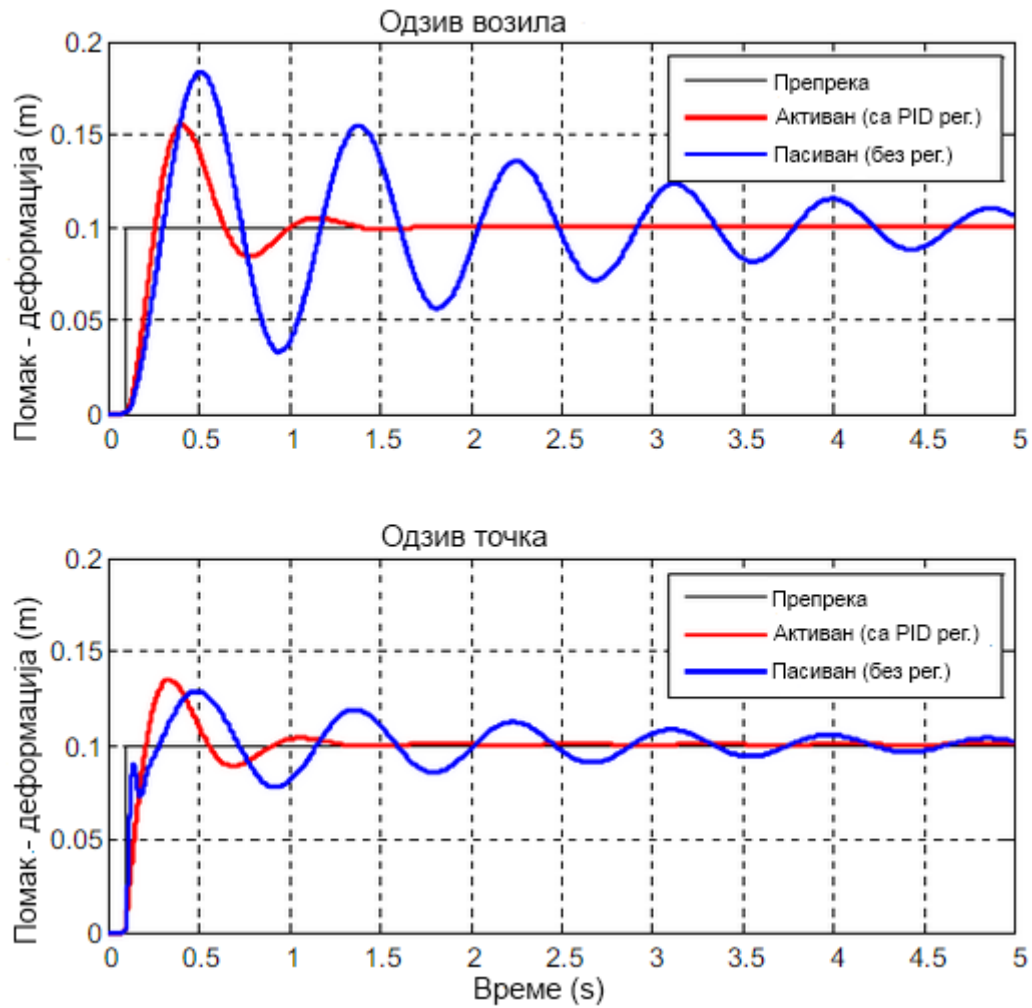
$$K_D = K_P \cdot T_D$$

Одзив аутомобила приликом наилаaska аутомобила на неравнину пута високу 100 mm приказан је на дијаграмима слике 7.9. На темељу ручног подешавања PID регулатора са следећим вредностима појачања [10]:

$$K_P = 1$$

$$K_I = 7000$$

$$K_D = 5000$$



Слика 7.9 – Поређење резултата одзива возила и точка (пнеуматика) са пасивним CEO (без регулације) и активним CEO (са PID регулатором) добијених моделирањем у програму Simulink [10]

Показатељи квалитета одзива:

- вршна вредност одзива возила: 50 mm
- вршна вредност одзива точка (пнеуматика): 40 mm
- време смирења возила: 2 s
- време смирења точка (пнеуматика): 5 s

8. Закључак

Сагледавши примењена решења система еластичног ослањања на разним врстама возила, јасно се уочава разлика између пасивних и полуактивних и активних система. Карактеристике су знатно боље код полуактивних и активних СЕО, а самим тим и перформансе, стабилност, управљивост и удобност возила.

При избору врсте и типа СЕО неопходно је обезбедити задовољавајуће пригушење вибрација, које снажно утичу на повећање оптерећења точка. Полуактивни СЕО ипак заостају по својим карактеристикама у поређењу са активним СЕО, али произвођачи често за ново возило бирају полуактивне системе, јер су мање захтевни у фази развоја, а пружају и могућност унапређења, врло често се користе као компромисно решење између пасивних и активних система.

Активни СЕО су захтевни у погледу погона у односу на пасивне и полуактивне СЕО. Пасивни системи, са друге стране, не могу да обезбеде смањено кретање ослоњене масе при резонантним фреквенцијама ослоњене масе и точкова аутомобила. Активни СЕО се, за сада, појављују само на врло скупим аутомобилима, јер због своје компликованости имају високу цену израде.

Активно електромагнетно ослањање са линеарним електромоторима је још увек у фази испитивања. Активно ослањање је махом интегрисано у хидрауличке системе, но према досадашњим испитивањима хидраулика не може да реагује брзо као електромагнетни систем па не може ни да обезбеди одговарајућу удобност у току вожње.

При избору СЕО треба имати у виду: класу аутомобила, оптималну вредност сопствене учестаности у зависности од статичког угиба и потребну величину динамичког хода, оптимално пригушење осцилација ослоњених и неослоњених маса, задовољавајуће кинематске карактеристике аутомобила у целини и точкова посебно, поуздано преношење сила и момената у свим условима кретања аутомобила, максимално искоришћење габарита аутомобила и др. При пројектовању СЕО неопходно је наћи компромис између: осцилаторне удобности, управљивости и потребног простора за уградњу.

Код савремених возила активни СЕО представља аутоматско управљање системом и остварује се тако што се систему додаје генератор активне силе, управљачка јединица, електронска контрола целокупног система ослањања, као и низ сензора који су незаобилазни код ових СЕО. Треба имати у виду да технологија напредује из дана у дан и да ће овакав вид еластичног ослањања возила постати све заступљенији у скоро свим класама возила.

Литература:

- [1] М. Демић; Оптимизација осцилаторних система моторних возила, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац 1997.
- [2] S.M. Savaresi, C. Poussot-Vassal, C. Spelta, O. Sename, L. Dugard; Semi-activesuspensionSuspensionControlDesing for Veihicles, Butterworth-Heinemann is animprint of ElsevierThe Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford 210.
- [3] E. Guglielmino, T. Sireteanu, C. Stammers , G. Ghita, M. Giuclea; Semi-activeSuspensionControl, London 2008.
- [4] И. Филиповић, Мотори и Моторна возила, Машински факултет Универзитета у Тузли, 2006.
- [5] А. Стефановић, Друмска возила – основи конструкције, Центар за моторе и моторна возила Машинског факултета у Нишу и Центар за безбедност саобраћаја у Крагујевцу, 2010.
- [6] Ј. Лукић и Ј. Глишовић; Предавања и вежбе из предмета Конструкција и прорачун моторних возила (www.moodle.mfkg.rs), школска 2011/2012.
- [7] Ј. Велаги: Аутомобилски мехатронички процеси – суспензија, Електротехнички факултет Сарајево, школска 2007/08., вежбе (Лекција 10 <http://c2.etf.unsa.ba>).
- [8] В. Поповић; Мехатроника на возилу, Систем активног ослањања, Факултет техничких наука у Новом Сад, (<http://www.ftn.uns.ac.rs/1290353311/casopisi>)
- [9] Д. Секулић и В. Дедовић; Симулација понашања аутобуса са класичним и активним системом ослањања, Научно стручни часопис: Истраживања и пројектовања за привреду, број 20, стр. 23÷32.
- [10] Моделирање и регулација овјеса возила, Завод за техничку механику – Катедра за динамику стројева, Свеучилишта у Риједи, школска 2010/2011:
http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_kons_stroj/katedre/prijenosnici/kolegiji/mtr/mtr_materijali/2009-10/1.%20vjezba%20-%20%20asist.%20Stimac.pdf, приступљено 16.5.2015.
- [11] Citroen Xsara Picasso: <http://www.mojagaraza.rs>, приступљено 5.5.2015.
- [12] Pneumaticsuspension system (Part 1):
<http://www.donnagrossmancasting.com/allroad/allroad%20suspension%201.pdf>, приступљено 16.5.2015.
- [13] Citroënhydraulic system:
<http://www.citroenet.org.uk/miscellaneous/hydraulics/hydraulics-1.html>, приступљено 7.5.2015.
- [14] VehicleDynamics:
http://www.motor.com/newsletters/20131010/WebFiles/ID1_TheEyesHaveIt.html, приступљено 8.5.2015.
- [15] Mercedes – BenzAirmaticSuspension:
http://techcenter.mercedes-benz.com/en_CA/airmatic_dc/detail.html, приступљено 10.5.2015.
- [16] Audi's new magnetic semi-actives uspension system:
<http://www.gizmag.com/go/5752/pictures#5>, приступљено 10.5.2015.
- [17] Систем ослањања аутомобила (едукација):
<http://www.renaultforumserbia.com/index.php?topic=14803.0>, приступљено 10.5.2015.
- [18] Х. Радеља, Р. Жигулић, С. Браут; Нумеричка симулација преласка возила преко препрека на путу: Eng. Rev. 27 – 2 (2007), стр. 93÷101.
- [19] Д.Тарановић; Мехатроника МВМ (www.moodle.mfkg.rs), Факултет инжењерских наука Крагујевац, школска 2014/2015;
- [20] RoadSensingSuspension System:
www.cadillacforums.com/cadillac-suspension.pdf, приступљено 12.5.2015.

- [21] Adaptiveairsuspension:
http://www.audi-technology-portal.de/en/chassis/suspension-control-systems/adaptive-air-suspension_en, приступљено 12.5.2015.
- [22] PorscheActiveSuspensionManagement (PASM):
<http://www.porsche.com/usa/models/cayman/cayman/chassis/porsche-active-suspension-management-pasm/>, приступљено 13.5.2015
- [23] Porsche 911 GT3:
http://www.moto.rs/predstavljam_porsche_911_gt3_3.8l_475ks_kompletno_novi_sportski_automobil-pc-35691.i, приступљено 13.5.2015.
- [24] PorscheiManuals:<http://www.porscheownersmanuals.com/2011-cayenne/4/197/>,
приступљено 13.5.2015.
- [25] Electronic Active Stabilizer Suspension System Development & Realization:
<http://dbnst.nii.ac.jp/english/detail/1830>, приступљено 13.5.2015.
- [26] Компоненте система ослањања:
http://krisitom.com.mk/download/amortizeri_eksploatacija%20i%20greski.pdf, приступљено 15.5.2015.
- [27] SuspensionTechnology - ZF Friedrichshafen AG:
www.zf.com/.../doppelseiten_daempfungsmodule_engl_20110823.pdf, приступљено 15.5.2015.
- [28] Experience the GenShockDifference:
<http://levantpower.com/automotive/>, приступљено 20.5.2015.
- [29] Glossary of Porscherelatedterms:
<https://www.stuttcars.com/technical/glossary/>, приступљено 15.5.2015.
- [30] Classification of suspensionssystems:
https://afdelingen.kivi.nl/media-afdelingen/.../KIVI_Gysen.pdf, приступљено 23.5.2015.
- [31] Hydro-pneumaticsuspension system:
<http://www.argo-hytos.com/news/products-application/article/hydro-pneumatic-suspension-systems-faster-and-more-cost-effective-development.html>, приступљено 23.5.2015.
- [32] Selection of Sensors for Hydro-ActiveSuspension System of Passenger Car WithInput–OutputPairingConsiderations:
<http://dynamicsystems.asmedigitalcollection.asme.org/Mobile/article.aspx?articleid=1656774>,
приступљено 23.5.2015.
- [33] Active-air-suspension-system:
<http://www.slideshare.net/suchitmoon/active-air-suspension-system>, приступљено 23.5.2015.
- [34] Bose Breakthrough: Electromagnetic Auto Suspension:
<http://www.team-bhp.com/forum/technical-stuff/18984-bose-breakthrough-electromagnetic-auto-suspension.html>, приступљено 24.5.2015.
- [35] DynamicSuspension:
<http://www.alfaromeosrbija.rs/rs/#/technology/dynamic-suspension>, приступљено 25.5.2015.
- [36] 3 Technologies ThatAreMaking Car Suspensions Smarter Than Ever:
<http://www.mysupercars.net/3-technologies-that-are-making-car-suspensions-smarter-than-ever/>,
приступљено 25.5.2015.