

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Испитивање МВМ 2

Број индекса: 363/2017

Андријана З. Алемпијевић

**Примена двоканалног хидродинамичког
пулзатора у испитивању моторних
возила и мотора
Мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Данијела Милорадовић, ванр. проф. - ментор

2. _____

3. _____

Датум

одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да:

- прикаже развој примене пулзатора у техници испитивања моторних возила,
- прикаже преглед основних врста и области примене пулзатора који се користе у техници испитивања моторних возила,
- опише основне карактеристике, начин функционисања и област употребе двоканалног хидродинамичког пулзатора Лабораторије за моторна возила,
- изврши тестирање могућности генерисања побуда на осцилаторном тањиру хидродинамичког пулзатора и обраду резултата мерења у временском и фреквентном домену.

Препоручена литература:

- [1] Милорадовић, Д., Тарановић, Д.: *Испитивање моторних возила и мотора 2* (скрипта у електронском облику), Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2019.
- [2] Тодоровић, Ј.: *Испитивање моторних возила*, Машински факултет у Београду, Београд, 1995.
- [3] Šilić, Đ.: *Ispitivanje motornih vozila*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2010.
- [4] De Silva, C.W.: *Vibration monitoring, testing, and instrumentation*, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, New York, USA, 2007.
- [5] Klyatis, L.M.: *Accelerated reliability and durability testing technology*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, USA, 2012.
- [6] Piersol, A.G., Paetz, T.L.: *Harris' shock and vibration handbook*, The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, USA, 2010.

Крагујевац, 09.03.2020.

Ментор:
др Данијела Милорадовић, ванр. проф.

РЕЗИМЕ

У оквиру мастер рада најпре је приказан развој примене пулзатора у техници испитивања моторних возила, као и преглед основних врста и области примене пулзатора који се користе у самој техници испитивања моторних возила. Детаљно је приказан опис основних карактеристика, начина функционисања и области примене двоканалног хидродинамичког пулзатора који поседује Лабораторија за моторна возила Факултета инжењерских наука у Крагујевцу. На крају су приказани резултати тестирања могућности генерисања побуда на осцилаторном тањиру. Резултати мерења су приказани графички и извршена је њихова спектрална анализа.

Кључне речи: *возило, испитивање, пулзатор, индуктивни давач, спектрална анализа*

ABSTRACT

This master describes the development of shaker application in motor vehicle test technique, as well as an overview of the basic types and application areas of the shakers used in the motor vehicle test technique. A detailed description was given of the basic characteristics, modes of operation and field of application of the two-channel hydrodynamic shaker owned by the Laboratory for motor vehicles of the Faculty of engineering in Kragujevac. Finally, results of the testing of the possibilities of generating excitation on the oscillator plate were presented. The results of the measurements were shown in diagrams and their spectral analysis was performed.

Keywords: *vehicle, testing, vibration testing machine, inductive sensor, spectral analysis*

Садржај

1. Увод	1
2. Примена пулзатора у техници испитивања моторних возила и мотора	8
2.1 Развој примене пулзатора у техници испитивања моторних возила.....	9
2.2 Преглед основних врста пулзатора.....	11
2.2.1 Хидраулички пулзатори.....	12
2.2.2 Инерцијални (механички) пулзатори	13
2.2.3 Електромагнетни пулзатори.....	16
2.3 Примери примене пулзатора у техници испитивања возила	17
2.3.1 Пулзатор за испитивање хоризонталне побуде преко пнеуматика возила фирме <i>MTS</i>	17
2.3.2 Пулзатор за испитивање система еластичног ослањања и система за управљање Истраживачког центра <i>FIAT</i>	18
2.3.3 Двоосовински симулатор вожње <i>MTS 329</i> са побудом преко главчина точкова	18
2.3.4 Примена минијатурних пулзатора у испитивању моторних возила.....	20
2.3.5 Механички пулзатор Факултета инжењерских наука.....	21
3. Двоканални хидродинамички пулзатор НР-2007 Лабораторије за моторна возила	24
3.1 Основне техничке карактеристике и начин функционисања.....	24
3.2 Област употребе у техници испитивања возила.....	30
4. Методологија мерења генерисаних побуда на осцилаторном тањиру хидродинамичког пулзатора	31
4.1 Предмет мерења	31
4.2 Мерне величине и начин њиховог мерења	31
4.3 Опис опитне инсталације.....	31
4.3.1 Блок-шема опитне инсталације.....	31
4.3.2 Двоканални хидродинамички пулзатор	32
4.3.3 Индуктивни давач убрзања <i>СТС АС102-1А</i>	32
4.3.4 Мерно-појачавачки мост.....	33
4.4 Режим рада	35
4.5 Поступак рада	36
4.6 Планирани начин приказивања резултата мерења.....	37
5. Приказ и анализа резултата мерења	38
5.1 Резултати мерења побуде по једној оси	38
5.1.1 Побуда само у вертикалном правцу	38
5.1.2 Побуда само у хоризонталном правцу	40
5.2 Резултати мерења истовремене побуде у вертикалном и хоризонталном правцу	42

5.3 Спектрална анализа експерименталних резултата.....	46
6. Закључак.....	49
7. Литература	51

1. Увод

Научна дисциплина Испитивање моторних возила и мотора је релативно млада. Појавила се са појавом првог аутомобила, око 1886. године. Првобитни захтеви су се односили на задатке испитивања пројектованог возила, односно на његову проверу. Пре свега, вршила су се испитивања возила на путу, у условима експлоатације. Испитивања су се односила на век трајања и поузданост појединачних компонената возила [1].

Савремени захтеви за испитивање моторних возила подразумевају испитивања са следећих аспеката:

- безбедност возила,
- економичности погона возила и
- утицаја возила на окружење.

Проблем безбедности возила огледа се у функцији испитивања брзине кретања возила у току његове експлоатације. Проблематика економичности погона возила сагледава се у функцији испитивања погонског горива, док се проблем утицаја возила на окружење сагледа у функцији испитивања:

- буке коју возило производи и
- емисије издувних гасова.

У току даљег усавршавања возила, појавила се потреба за испитивањем возила у лабораторијским условима. Да би се то испитивање приближило испитивању возила у реалним условима експлоатације, појавила се потреба за увођењем симулатора за „имитирање“ реалних услова. Данас се користе серво-хидраулични уређаји – пулзатори за потребе симулирања побуда возила, који су први пут коришћени 1962. године [1].

Разни проналасци из области електротехнике, мерне технике и слично помогли су напретку и саме дисциплине испитивања моторних возила и мотора. Нарочито су у овом погледу значајни:

- развој техника употребе мерних трака,

- развој теорије случајних процеса и структурне динамике,
- теорија збирног оптерећења везана, пре свега, за појаве замора материјала и
- примена рачунарске технике.

Приликом испитивања возила користе се различити видови испитивања, који се могу поделити на основу критеријума за поделу испитивања возила [1]:

1) Према фазама животног века

- испитивања у фази развоја возила,
- испитивања у фази производње возила,
- испитивања у фази експлоатације (коришћења возила),
- испитивања у фази рециклаже.

2) Према законској регулативи

- **Хомологацијско испитивање.** Представља посебан вид провере својства и особина возила и њихових компонената у односу на међународне правилнике о хомологацији. Применом стандарда и регулатива дефинише се ко и на који начин врши ово испитивање.
- **Атестирање.** Представља поступак утврђивања саобразности карактеристика квалитета прописаним карактеристикама квалитета ради издавања атеста. Издавање атеста се врши под условима и на начин прописан Законом о стандардизацији и осталим прописима.

3) Према циљу који се жели постићи

- **Испитивање перформанси.** Подразумева испитивање функционисања возила (режим кретања, динамичност, кочење, управљивост, стабилност, економичност погона).
- **Испитивање радних оптерећења.** Подразумева проучавање услова у којима ће се возило користити.
- **Испитивање безбедности.** Подразумева испитивање карактеристика активне и пасивне безбедности возила.
- **Испитивање поузданости.** Подразумева испитивање функција возила без отказа.

4) Према месту испитивања

- лабораторијска испитивања,
- полигонска испитивања,
- теренска испитивања,
- пољска испитивања,
- путна испитивања и
- комбинована испитивања.

Методологија испитивања представља скуп принципа, процедура и вештина примењених у истраживању, који обухвата цео процес спровођења истраживања [2]. Испитивање моторних возила, њихових склопова и елемената, спроводе се по посебним методологијама, које могу бити:

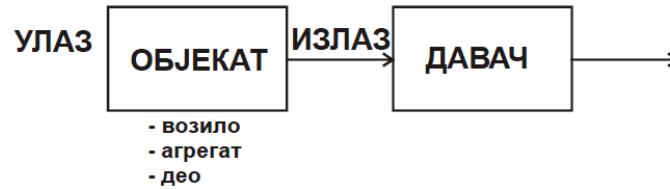
- донете на основу међународних стандарда,
- прописане на националном нивоу и
- донете на интерном нивоу - од стране произвођача.

Стандардне методологије испитивања се односе првенствено на одређивање перформансе возила као што су на пример одређивање максималне брзине возила, карактеристике залета, кочења итд. У Србији постоје национални стандарди за поједине врсте испитивања моторних возила и њихових компонената. За остале врсте испитивања, методологије се, по правилу, не стандардизују на националном или међународном плану. Многи поступци испитивања радних оптерећења и поузданости, међутим, стандардизују се на нивоу фабрика и произвођача возила. Ови стандарди нису доступни јавности и третирају се као пословне тајне.

Методологија испитивања треба да садржи основне елементе испитивања [2]:

- **предмет**, опис чему служе испитивања и тако добијене информације
- **мерне величине и начин њиховог мерења**, рачунајући и тачност инструмената и опитне инсталације у целини,
- **опис опитне инсталације**, или начин уградње мерних инструмената
- **режим рада**, услове под којима треба извршити испитивање
- **поступак рада**, тј. начин спровођења мерења и прикупљање резултата
- **начин приказивања резултата мерења.**

Давачи су основни елементи мерних инсталација, слика 1. Давач или сензор је уређај који мери физичку величину (температуру, притисак, број обртаја мотора) и претвара је у сигнал који је погодан за даљу обраду.



Слика 1 Давач као основни елемент мерне инсталације [1]

Према конструкцији преносних елемената који појачавају основни сигнал, давачи могу бити:

- механички,
- оптички,
- пнеуматски,
- хидраулички,
- електрични или електронски и
- комбиновани.

Електрични давачи могу бити [3]:

- контактни,
- индуктивни,
- капацитивни,
- пиезоелектрични,
- фото-електрични и
- оптички.

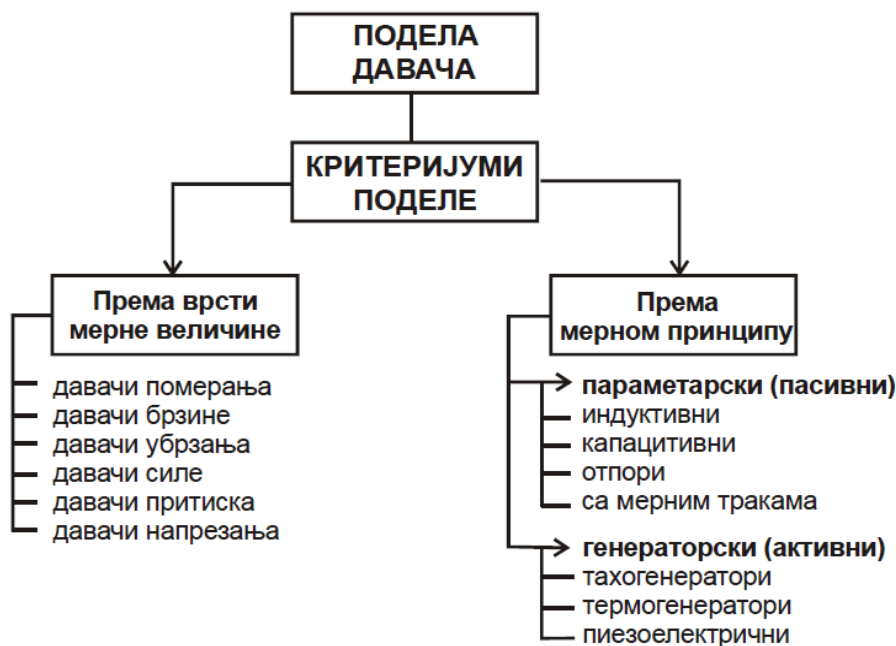
По облику, излазни сигнали давача могу бити:

- непрекидни,
- дискретни и
- импулсни.

Према начину мерења, давачи могу бити:

- контактни и
- бесконтактни.

Подела давача према врсти мерне величине и према мерном принципу приказана је на слици 2.

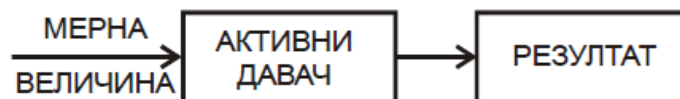


Слика 2 Подела давача [1]

Према основним принципима рада, односно према потреби напајања енергијом, давачи се могу сврстати у две групе:

1. Активни (генераторски) давачи

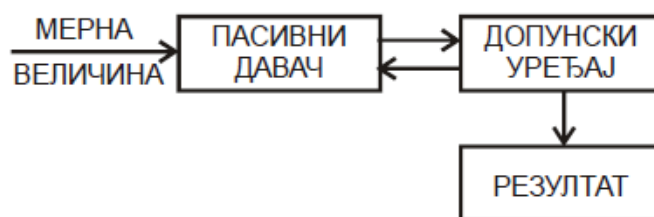
Активни давачи, слика 3, представљају генераторе електричне струје, јер под утицајем мерне величине, сами генеришу електричну енергију. Мерење се своди на мерење напона или јачине струје који се генеришу, а који су сразмерни мерној величини. Активни давачи су једноставне конструкције са недостатком да енергију која им је потребна за генерисање електричне струје узимају од мерног објекта, што може утицати на тачност мерења. На основу тога, они се конструишу тако да што мање енергетски утичу на мерни објекат, а то значи да је и генерисање електричне струје на веома ниском нивоу [1].



Слика 3 Активни давачи [1]

2. Пасивни (параметарски) давачи

Пасивни давачи, слика 4, се напајају електричном струјом. Промене улазне мерне величине изазивају промене електричне величине на излазу. Пасивни давачи не утичу на енергетско стање мерног објекта. Могу се напајати електричном струјом произвољне величине и на тај начин олакшавају процес мерења. Мерна инсталација ових давача је знатно сложенија у односу на активне даваче. Пре свега, у инсталацији мора да постоји посебан енергетски извор који је давач напајати одређеном и константном јачином струје. Поред тога, за мерење промена електричне вредности, по правилу треба да постоји посебан уређај, тзв. мерни мост. Тек после свега, електрична може да се спроведе до инструмента за приказивање резултата [1].



Слика 4 Пасивни давачи [1]

Лабораторијска испитивања моторних возила пролазила су кроз различите развојне фазе, које су пратиле развој аутомобила и аутомобилске индустрије. Како су се технологије испитивања развијале, тако је дошло до измене самог начина испитивања моторних возила.

Поред испитивања возила у спољашњој средини, дошло је до развоја техника испитивања возила у различитим лабораторијским условима, у којима се возило може испитати уз коришћење симулације радних услова. За ту сврху, лабораторије су опремљене разним врстама пулзатора и симулатора вожње који, уз одговарајућу

софтверску подршку, служе за генерисање и примену симулираних побуда еквивалентних онима којима је возило изложено у спољашњем окружењу.

За пројектовање аутомобила са становишта осцилаторне удобности од значаја су познавање преношења вибрација кроз човечије тело и њихов утицај на психофизичке карактеристике човека. Данас се утицај вибрација на човека истражује како у експлоатационим тако и у лабораторијским условима. Притом, далеко већа пажња се поклања лабораторијским истраживањима, јер она обезбеђују стабилност параметара микро-окружења (бука, термичка оптерећења и сл.) и поновљивост резултата.

У савременој литератури се најчешће посматра утицај вертикалних вибрација на човека и то, најпре, хармонијских, а затим и случајних. Обично је у тим случајевима од интереса фреквентни опсег до 30Hz. Поред овога, досадашња истраживања у овој области су показала да је човек осетљив и научестаности ниже од 1 Hz, као што су 0,1 Hz, па чак и мање (до приближно 0,05Hz).

При поменутих истраживањима, на производним линијама аутомобилских индустрија, на линијама за тестирање користе се побуђивачи или пулзатори. Због релативно значајних масених оптерећење испитиваних објеката, најчешће су реализовани на хидрауличком принципу. Обично су реализовани као хидрауличка платформа са могућношћу побуђивања по два независна управна правца (двоосни) или по једном линијском правцу (једноосни), а у ређем броју случајева се захтева истовремена побуда по двеосе, односно сложено кретање.

2. Примена пулзатора у техници испитивања моторних возила и мотора

Примена пулзатора у техници испитивања моторних возила је веома разноврсна, док је сам вид испитивања брз и тачан. Пулзатори се користе како за испитивање утицаја вибрација и побуда на возило, тако и њиховог утицаја на самог човека.

Испитивање осцилаторних процеса возила карактеристична су по повезаности путних и лабораторијских испитивања, слика 5. Путна испитивања могу бити: поредбена испитивања, испитивања века или снимања експлоатационих режима, док се лабораторијска испитивања односе на испитивање комплетног возила и испитивање агрегата возила.



Слика 5 Повезаност путних и лабораторијских испитивања осцилаторних процеса возила[1]

Детаљна испитивања осцилаторних процеса возила одвијају су се у лабораторијским условима. Основни проблем при томе је конструкција уређаја за симулацију побуђивања возила преко точкова (директно преко пнеуматика или директно на центар точка). Такве уређаје, пулзаторе, производе само велике светске фирме, као што су *MTS* и *Schenk*.

Старије варијанте пулзатора обезбеђивале су механичку побуду у само једном правцу, док новије конструкције обезбеђују електрично и хидраулично побуђивање у сва три правца.

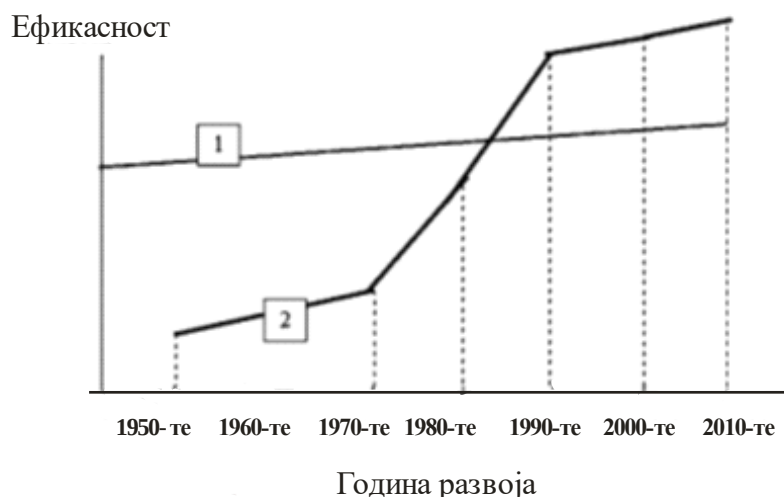
2.1 Развој примене пулзатора у техници испитивања моторних возила

У техници испитивања моторних возила помоћу симулација вибрација постоје два приступа: испитивање на полигону и лабораторијско испитивање. Поред очигледних предности употребе полигонских испитивања, постоји и низ негативних аспеката. Основни негативни аспекти полигонских испитивања су следећи:

- употреба полигона је често скупа за аутомобилске компаније мање и средње величине,
- немогућност контролисања процеса осциловања као у лабораторијским условима и
- зависност примене полигонских испитивања од временских услова.

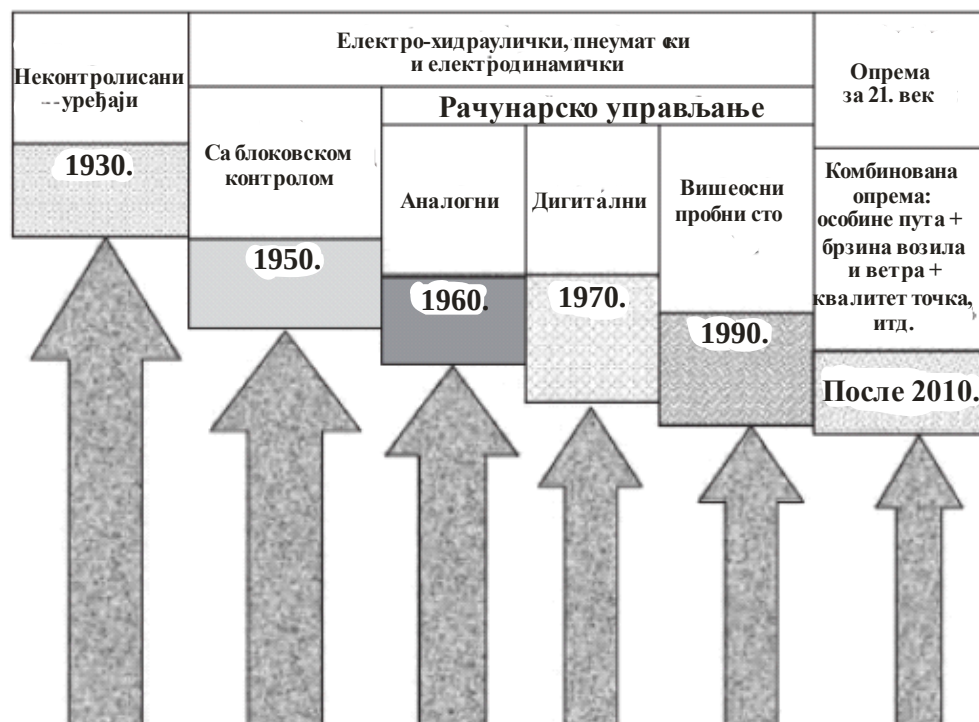
На самом почетку испитивања осцилаторних карактеристика у лабораторијским условима, користили су се неконтролисани једноставни уређаји - пулзатори или „шејкери“. Затим долази до развоја електродинамичких, електрохидрауличких и пнеуматских уређаја за генерисање вибрација. На почетку су постојали пулзатори који су могли да произведу вибрације самом по једној оси, међутим са развојем пулзатора долази се до модела који производе вибрације у више оса. Примена вишеосних пулзатора елиминисала је негативне аспекте претходних пулзатора и њихове лабораторијске примене.

Једноставни механички пулзатори, посебно једноосни, коштају мање од других типова пулзатора, међутим не могу успешно да се примене за убрзано испитивање поузданости и издржљивости, јер не могу да симулирају случајне вибрације и побуде из правца више оса. Решење овог проблема се појавило 1950-их година, када је почела производња серво-хидрауличке, електро-динамичке и пнеуматске опреме са контролним системима. У исто време је почело њихово коришћење за испитивање вибрација у лабораторији уз помоћ симулација блокова оптерећења. Тачност симулација је била мања него код полигонских испитивања, слика 6, али су лабораторијске симулације биле много јефтиније.



Слика 6 Развој квалитета испитивања вибрација: 1 - полигонска испитивања, 2 - лабораторијска испитивања [3]

Пре 1980-их година, укупна ефикасност испитивања уз помоћ ове лабораторијске опреме (укључујући све параметре - економске и техничке) била је мања од ефикасности испитивања на полигону. Од средине 1980-их година, повећава се ефикасност лабораторијског испитивања. На слици 7 се може јасно уочити да је највећи пораст ефикасности коришћења оваквог вида лабораторијске опреме био у периоду између 1970. и 1990. године [3].



Слика 7 Фазе развоја основне опреме за испитивање вибрација [3]

Од 1990-их година па све до данас, брзина побољшања опреме за испитивање вибрација је мања, али постоји напредак у вези система за управљање. Опрема са програмираним блоковским управљањем конструисана је и произведена пре 60 година, али се још увек може видети на данашњем тржишту (механички пулзатори) [3].

2.2 Преглед основних врста пулзатора

У широкој употреби су три основна типа пулзатора: хидраулички, инерцијални и електромагнетни пулзатори. У Табели 1 су приказани радни опсези ових врста пулзатора [4].

Табела 1 Радни опсези разних врста пулзатора [4]

Тип пулзатора	Типичне радне способности					
	Фреквенција	Максималан ход	Максимална брзина	Максимално убрзање	Максимална сила	Облик побуде
Хидраулички (електро-хидраулички)	Ниска (0,1 - 500 Hz)	Велики (50 cm)	Средња (125 cm/s ⁻¹)	Средње (20 g)	Велика (450000 N)	Просечна флексибилност (прост до сложени и случајни)
Инерцијални (са контра-теговима)	Средња (2-50 Hz)	Мали (2,5 cm)	Средња (125 cm/s ⁻¹)	Средње (20 g)	Средња (4500 N)	Само синусоидни
Електромагнетни (електро-динамички)	Висока (2-10000 Hz)	Мали (2,5 cm)	Средња (125 cm/s ⁻¹)	Велико (100 g)	Мала до средња (2000 N)	Висока флексибилност и тачност (прост до сложени и случајни)

Ход или максимално померање је највеће померање које пулзатор може пренети на испитивани објекат. Максимална брзина и убрзање се могу слично дефинисати. Максимална сила је највећа сила коју пулзатор може пренети на испитивани објекат прихватљиве тежине. Максимално померање се постиже само при врло ниским фреквенцијама. Постизање максималне брзине одговара средњим фреквенцијама у опсегу радних фреквенција пулзатора. Максимална убрзања и силе се обично постижу на високим фреквенцијама. Из тога се може закључити да није могуће да пулзатор ради истовремено при максималном померању и при максималном убрзању.

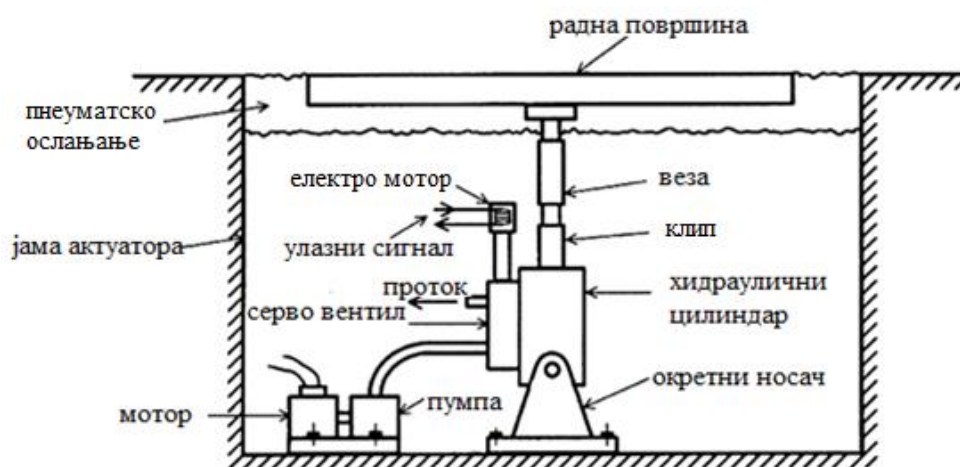
Испитивање вибрација врши се применом одређене побуде на испитивани објекат, користећи пулзатор и пратећи одзив објекта. Побуда може бити представљена и преко њеног спектра одзива. Тест захтева да спектар одзива стварне побуде обухвати

спектар одзива предвиђен за одређено испитивање, познат као захтевани спектар одзива.

Главни корак у планирању било каквог програма испитивања вибрација је избор одговарајућег система пулзатора (побуђивача) за тај тест. Постоје три основне врсте спецификација према којима се врши избор пулзатора: величина силе, величина снаге и величина максималног хода. Сила и снага су посебно важне код испитивања умереним до високим фреквенцијама побуде, док је величина максималног хода одлучујући фактор при избору пулзатора код побуђивања ниским фреквенцијама побуде [4].

2.2.1 Хидраулички пулзатори

Типични хидраулични пулзатор се састоји од склопа цилиндар-клип, серво вентила, пумпе за флуид и погонског електромотора. Хидрауличка течност (уље) се под притиском убацује у цилиндар кроз серво вентил помоћу пумпе коју покреће електромотор, слика 8.



Слика 8 Основни елементи хидрауличног пулзатора [4]

Проток који улази кроз цилиндар се контролише серво вентилом, који, уствари, контролише кретање клипа. Серво вентил се покреће помоћу мотора са линеарним обртним моментом, кога погони улазни сигнал побуде. Примарна функција серво вентила је да обезбеди повратну спрегу ка клипу. Клип је повезан са радном површином преко флексибилне везе. Оквир цилиндра је постављен на подлогу са

окретним зглобовима, што допушта мање угаоне и бочне неусклађености које могу да настану због динамике испитиваног објекта при кретању тањира.

На слици 9 се може видети оперативни блок дијаграм за хидраулични пулзатор.



Слика 9 Блок шема хидрауличког пулзатора [4]

Пожељно је да се актуатори поставе испод пода лабораторије за испитивање, тако да се радна плоча налази у нивоу пода лабораторије када није оптерећена. То смањује напор за постављање објекта који се испитује на пулзатор. У супротном, објекат испитивања би морао да се подиже виљушкарком на испитни сто.

Хидраулички актуатори су најпогоднији за испитивање тешких објеката и имају широк спектар примене у индустрији и грађевинарству. Могу да раде како на веома ниским фреквенцијама, тако и на средњим. На ниским фреквенцијама могућа су велика померања. Предност хидрауличких пулзатора је зато што пружају велику флексибилност током испитивања: испитивање са константним и променљивим силама и испитивање при широкопојасној случајној побуди. Иако је на овим пулзаторима могуће користити било коју врсту побуде (синусни талас, синусни импулс, широкопојасну случајну побуду), готово је немогућна верна репродукција ових сигнала на високим фреквенцијама због дисторзије сигнала и виших хармоника које ствара висок ниво буке уобичајен код хидрауличких система.

2.2.2 Инерцијални (механички) пулзатори

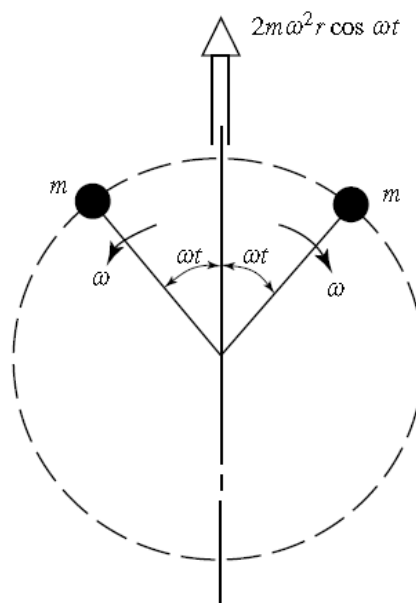
Прва испитивања осцилаторних процеса возила обављана су на механичким пулзаторима. Они су били одговарајући за обезбеђење синусних осцилација малих амплитуда, једне фреквенције у једном тренутку, у опсегу до 50Hz -60 Hz. Први стандарди у вези испитивања (из 1950-их година) писани су за такве пулзаторе и њихове могућности. Стандарди су захтевали обављање три теста: у правцу x-осе, y-осе

и z-осе објекта испитивања. Ова идеја испитивања у правцу једне осе, слика 10, још увек се користи, али не представља реално стање оптерећења [1].



Слика 10 Једноосни механички пулзатор [1]

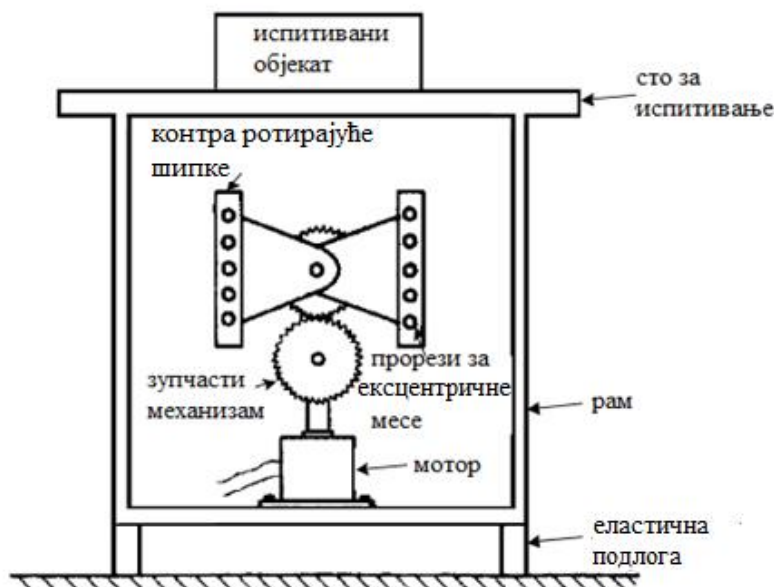
Код инерцијалних пулзатора или „механичких побуђивача“ сила која изазива кретање тањира је генерисана од стране инерцијалних сила убрзаних маса. У ову категорију спадају инерцијални пулзатори са ротационим контра-теговима. Да би се разумео њихов принцип деловања, разматрају се две једнаке масе, m , које ротирају у супротним смеровима, истом угаоном брзином, ω , по истом полупречнику путање, r , слика 10.



Слика 11 Принцип рада инерцијалног пулзатора са контра-теговима [4]

У овом случају сејавља резултујућа сила једнака $2 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \cos(\omega \cdot t)$ која дејствује у константном правцу (у равни симетрије ротирајућих полуга). Као последица, генерише се синусоидна сила фреквенције ω , и амплитуде пропорционалне ω^2 , која се делује на тањир пулзатора.

На слици 12 се може видети типична шема инерцијалног пулзатора са контра-теговима. Састоји се од две идентичне шипке које се окрећу истом брзином, али у супротном смеру. Свака од тих шипки има низ прореза за постављање тегова. На тај начин се може мењати величина ексцентричне масе да би се постигле различите силе. Шипке покреће електромотор променљиве угаоне брзине, преко зупчастог преносника који обично обезбеђује неколико преносних односа. Преносни однос се бира у зависности од потребног опсега фреквенција побуде. Читав систем је симетрично ослоњен на носач који је директно повезан са столом за испитивање (осцилаторним тањиром). Објект који се тестира је постављен на сто за испитивање (тањир пулзатора). Пожељна конфигурација постављања је хоризонтална, тако да се сила побуде примењује на испитивани објект у хоризонталном смеру. У овако постављеној конфигурацији пулзатора, не постоје променљиви инерцијални моменти који делују на погонски механизам. На слици 12 се може видети вертикална конфигурација пулзатора.



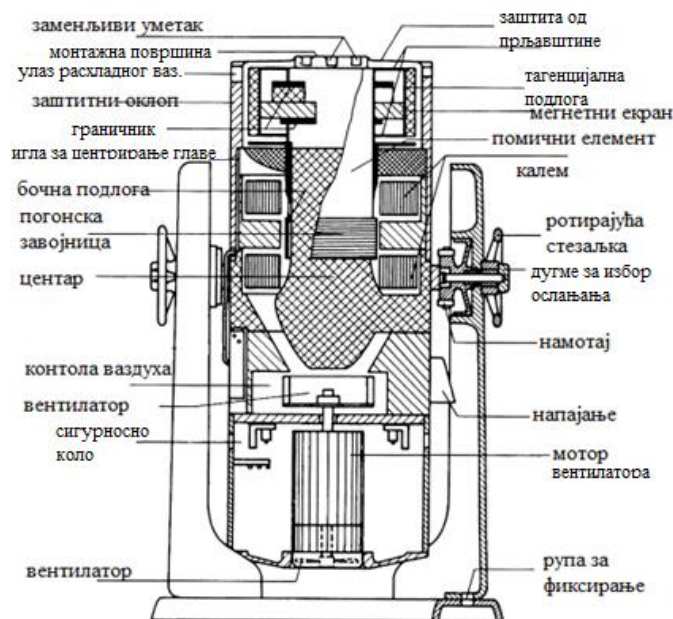
Слика 12 Шема инерцијалног пулзатора са контра ротирајућим масама [4]

При динамичком испитивању великих конструкција, носач се може поставити директно на конструкцију, на месту где треба применити силу побуде. Када се укључе два пара контра ротирајућих маса, могуће је генерисати побудне моменте, као и побудне силе.

2.2.3 Електромагнетни пулзатори

Електромагнетни пулзатори кретање генеришу користећи принцип рада електромотора. Сила побуде настаје када променљиви (електрични) сигнал побуде прође кроз покретни намотај који се налази у магнетном пољу.

Компоненте електромагнетног пулзатора приказане су на слици 13. Стабилно магнетно поље је генерисано од стране непокретног електромагнета који се састоји од намотаја намотаних око феромагнетног језгра чврсто повезаног на заштитну структуру. Глава пулзатора има намотај око себе. Када се електрични сигнал побуде пропусти кроз погонски намотај, глава пулзатора, која је ослоњена на носаче, почиње да се креће. Глава пулзатора се састоји од опитног стола (тањира) на који се поставља испитивани објекат. Такође постоје и пулзатори са изменљивим главама. Избор одговарајуће главе пулзатора зависи од геометријских особина и начина монтаже објекта. Глава пулзатора се може заокренути под различитим угловима помоћу окретног зглоба. На овај начин, могу се остварити различити правци дејства побуде (код двоосних и троосних испитивања).



Слика 13 Пресек типичног електромагнетног пулзатора [4]

2.3 Примери примене пулзатора у техници испитивања возила

2.3.1 Пулзатор за испитивање хоризонталне побуде преко пнеуматика возила фирме MTS

Један од пулзатора који се користи за испитивања возила и његових елемената је пулзатор за испитивања одзива возила на хоризонталну побуду преко пнеуматика, MTS, модел 242, слика 14 [5].



Техничке карактеристике:

Параметар	Вредност
Максимално оптерећење	545 kg
Ход	±5,1 cm
Фреквенција	0,5 Hz - 50 Hz
Номинални излаз динамичке силе	10 kN

Слика 14 Изглед и техничке карактеристике пулзатора MTS 242[5]

Софтверска подршка овог пулзатора може да генерише функције фреквентног одзива, изврши анализу путања буке, оцени и анализира осетљивост структуре возила и њен утицај на подсистеме и компоненте возила.

Пулзатор се састоји од две јединице за генерисање побуде, које садрже актуатор и плочу (тзв. „тањир“) за постављање точкова са одговарајућом везом и предвиђен је за испитивање једне осовине возила. Плоча је израђена је од лаког алуминијума са уграђеним пнеуматским системом ослањања да би се омогућио рад скоро без трења. Актуатор развија динамичку силу до 10 kN.

Процес испитивања возила уз помоћ овог пулзатора је једноставан - предњи или задњи точкови возила се навезу на плоче пулзатора, примени се паркирна кочница и поткоче непокретни точкови друге осовине. Цео систем се лако везује за подлогу, при чему нису потребне посебне просторије или сеизмичка маса да бисистем нормално радио.

2.3.2 Пулзатор за испитивање система еластичног ослањања и система за управљање Истраживачког центра *FIAT*

Истраживачки центар аутомобилског произвођача *FIAT* такође поседује пулзатор са две јединице за генерисање побуде, слика 15. Користи се за испитивање еласто-кинематских карактеристика система еластичног ослањања возила, као и за испитивање и анализу система за управљање [6].

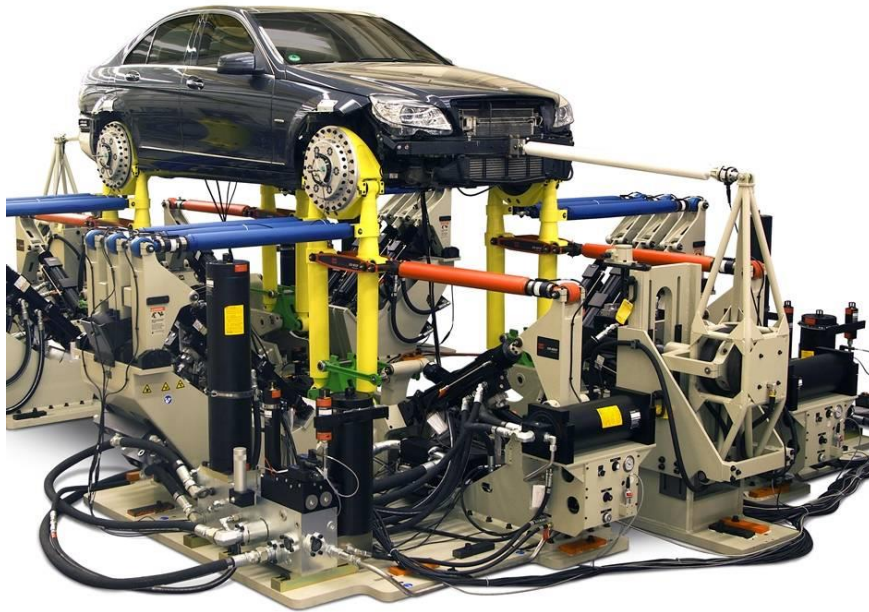


Слика 15 Пулзатор за испитивање возила у Истраживачком центру *FIAT* [6]

Овај пулзатор има два независна хидраулична актуатора за примену кретања на једну осовину возила. Сваки актуатор има четири степена слободе - три транслаторна кретања и једно ротационо кретање. Постоји и додатни, торзиони, актуатор, за испитивање система за управљање.

2.3.3 Двоосовински симулатор војње *MTS 329* са побудом преко главчина точкова

Фирма *MTS* је развила симулатор војње модел 329 6DOF, који служи за испитивање путничких возила применом побуде на сва четири точка, при чему се побуда преноси преко главчина точкова, слика 16.



Слика 16 *Симулатор војње MTS 329 6DOF [7]*

Симулатор војње *MTS 329 6DOF* омогућава контролу шест степени слободе кретања и сила на свакој главчини точка:

- вертикалну translацију,
- попречну translацију,
- подужну translацију,
- кочни/погонски момент,
- момент услед нагиба точка,
- момент заокретања точкава.

Побуде су независне на свим главчинама точкава, па се може симулирати стварно вишеосно стање напрезања подсистема и елемената возила у било ком тренутку времена. То омогућава симулацију комплексних нелинеарних стања која су важна за симулацију поузданости возила на путу.

Основне техничке карактеристике симулатора војње *MTS 329 6DOF* дате су у Табели 2.

Табела 2 Техничке карактеристике симулатора MTS 329 6DOF [7]

	Вертикално кретање	Подужно кретање	Попречно кретање	Заокретање око вертикалне осе	Кочење/ Погон	Момент услед нагиба точка
Максимална радна фреквенција	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Момент/сила на главчини точка	63 kN	22 kN	20 kN	6,9 kNm	4,0 kNm	9,6 kNm
Ход главчине точка	380 mm	392 mm	258 mm	16°	32°	16°
Брзина главчине точка	7 m/s	2,2 m/s	2,4 m/s	700°/s	700°/s	700°/s

2.3.4 Примена минијатурних пулзатора у испитивању моторних возила

Минијатурни пулзатори су у прво време били развијени да обезбеде динамичку побуду на тешко доступним локацијама, као што су комора за сагоревање мотора или лежајеви коленастог вратила, слика 17.

**Слика 17** Минијатурни пулзатори у комори за сагоревање мотора [8]

Типична примена ових пулзатора је у анализи путева преноса осцилација и звука. Такође се користе и за идентификацију експерименталног модела неког елемента или система возила. Најзад, минијатурни пулзатори се такође користе као побуђивачи у експерименталној модалној анализи. Типичне структуре које се испитују су: мотори, преносници снаге и компоненте возила у општем случају. Неки примери примене минијатурних пулзатора приказани су на сликама 18 и 19.



Слика 18 Тест деформације наплатка: побуда помоћу два минијатурна пулзатора (лево) и побуда помоћу класичних пулзатора (десно) [8]



Слика 19 Испитивање система за управљање: побуда минијатурним пулзаторима (лево) и побуда чекићем (десно) [8]

2.3.5 Механички пулзатор Факултета инжењерских наука

На слици 20 приказан је детаљ механичког пулзатора Лабораторије за моторна возила Факултета инжењерских наука у Крагујевцу са опитном приколицом, чији су точкови постављени на два тањира пулзатора.



Слика 20 Механички пулзатор Факултета инжењерских наука

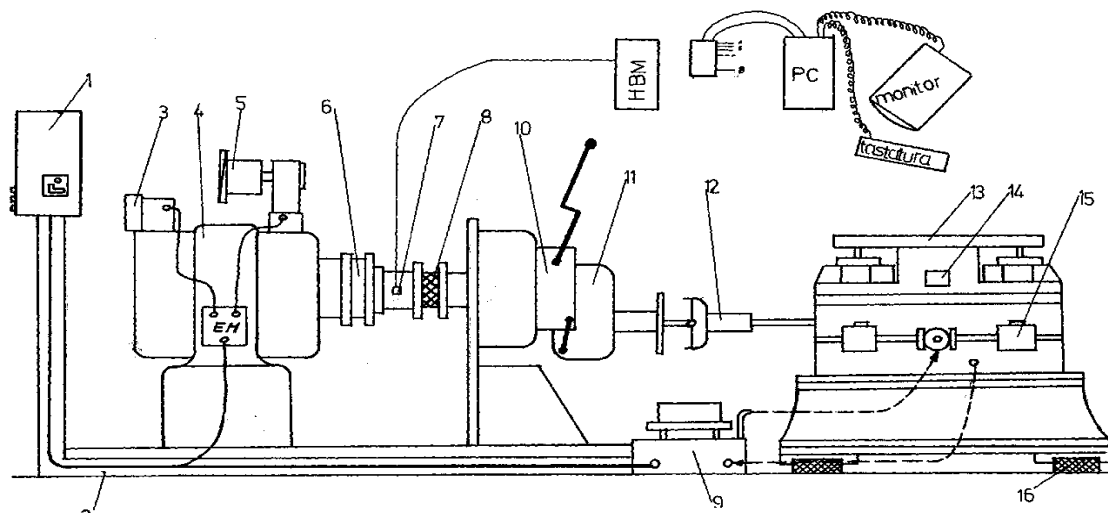
Механички пулзатор има две осцилаторне плоче које се симултано побуђују синусном побудом. Кретање плоча се остварује само у вертикалном правцу. Погон пулзатора је електромотор са варијатором помоћу кога се може мењати фреквенција побуде, док је ход осцилаторних тањира константан. Користи се за извођење лабораторијских вежби у Лабораторији за моторна возила и то за испитивање одзива система еластичног ослањања и пнеуматика лабораторијске приколице на осцилаторну побуду.

Основни елементи механичког пулзатора приказани на слици 21 су:

1. командна табла,
2. постоље – носач конструкције,
3. варијатор броја обртаја,
4. електромотор,
5. центрифугални варијатор,
6. центрифугална хидраулична спојница,
7. давач броја обртаја електромотора,
8. електрична спојница,
9. хидраулична пумпа,
10. механички преносних,
11. редуктор,
12. кардански преносник,
13. осцилаторни тањира,
14. давач убрзања,

15. заштитник померања точка и

16. гумени ослонац.



Слика 21 Саставни елементи механичког пулзатора Факултета инжењерских наука

Основне техничке карактеристике механичког пулзатора су:

- број обртаја електромотора: $685 - 2000 \text{ min}^{-1}$
- преносни односи:
 - а) механичког преносника $1:1 - 1:1.7$
 - б) варијатора $1:1 - 1:2.8$
 - в) главног преносника $1:1.5$
- ход осцилаторног тањира: $\pm 25\text{mm}$
- максимално оптерећење платформе: 500kg .

3. Двоканални хидродинамички пулзатор НР-2007 Лабораторије за моторна возила

Лабораторија за моторна возила Факултета инжењерских наука поседује двоканални хидродинамички пулзатор који је за потребе Лабораторије израдио и поставио Институт „Михајло Пупин“ из Београда, слика 22.



Слика 22 Двоканални хидродинамички пулзатор НР-2007 Факултета инжењерских наука

3.1 Основне техничке карактеристике и начин функционисања

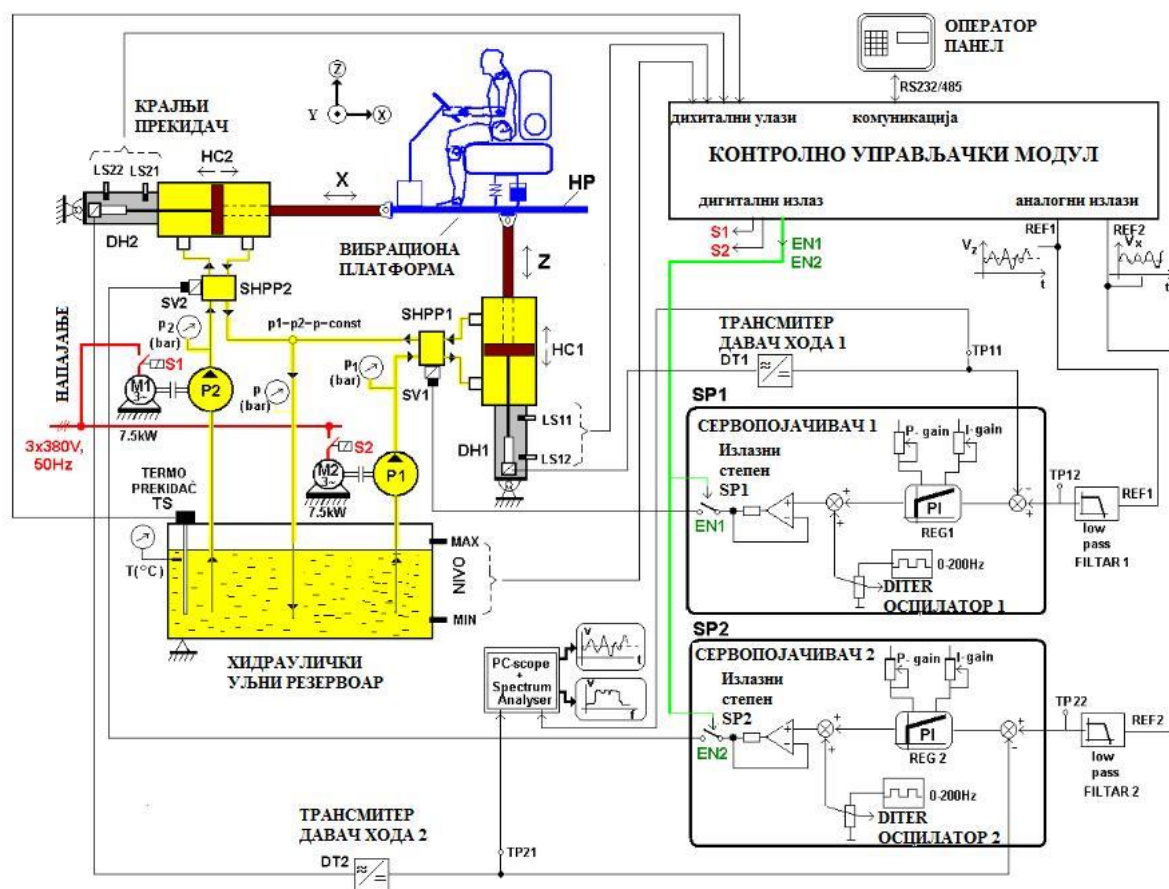
Хидродинамички пулзатор НР-2007 (лабораторијска вибрациона платформа) има могућност остваривања осцилација дуж две управне осе - вертикалне и хоризонталне. При томе је остварена реализација осциловања по свакој од оса посебно, али и са истовременом побудом по обе осе. Максимална маса коју платформа пулзатора може да побуђује је 200 kg.

Опсег фреквенција побуде је од 0,1 Hz до 35 Hz. Пулзатор може да генерише следеће врсте побуда:

- случајну ускопојасну или широкопојасну побуду,
- побуду у облику троугаоног сигнала и
- синусну хармонијску побуду.

Управљачки уређај пулзатора је програмибилан и флексибилан у смислу задавања параметара осциловања (амплитуда, фреквенција, врста побуде, број циклуса испитивања, „пребрисавање“ фреквентног опсега и сл.).

Принципијелна шема функционисања електро-хидрауличног пулзатора и припадајућег контролног система је приказана на слици 23.



Слика 23 Шема хидрауличног пулзатора HP-2007 [9]

Систем пулзатора се састоји од неколико подсистема [9]:

- система за напајање електричном енергијом,
- хидрауличке инсталације,
- PI серво контролера,
- дигиталног контролног модула и
- мерног (аквизиционог) подсистема.

Напајање електричних мотора M1 и M2, хидрауличких пумпи P1 и P2 се остварује из трофазне мреже (3x380V, 50Hz).

Напајање хидрауличке инсталације, пумпи P1 и P2, је остварено из хидрауличног резервоара. Хидраулички резервоар служи за смештај хидрауличног уља чији је ниво могуће визуелно пратити. У случају да сензор вентила за воду уграђен на бочну страну резервоара региструје температуру уља већу од 35°C, отвара се довод воде кроз хладњак, кроз који се уље враћа у резервоар, прошавши претходно кроз повратни филтер смештен, такође на поклопцу резервоара. На поклопцу се такође налази и нивомер уља као и прикључци дренажних водова хидрауличких компоненти. На бочној страни резервоара се налази уграђен термостат за контролу температуре уља [9].

Хидрауличке пумпе су клипно-аксијалне и предвиђене су за режим са константним притиском. Клипно-аксијална пумпа са припадајућим електромотором усисава уље из резервоара преко цревовода са лоптастом славином која је увек у отвореном положају. На пумпи се врши подешавање радног притиска помоћу регулатора притиска.

Манометарским блоком у склопу кога се налазе манометри, је обезбеђено мерење и визуелнимониторинг (очитавање) притиска у директним водовима, и то манометром p1 за хидраулично коло по вертикалној Z-оси, манометром p2 за хидраулично коло по хоризонталној X-оси, манометром p3 је обезбеђено мерење и очитавање притиска у повратном воду [9].

Растеретним вентилом у склопу хидрауличке инсталације је омогућено да свака од пумпи P1, P2, стартује неоптерећена и који у свом саставу садржи и вентил сигурности подешен на вредност притисканешто изнад радног на који је подешен регулатор пумпе променљивог протока. Подешена вредност системског притиска за сваку пумпу посебно очитава се на манометрима постављеним на рампулзатора. Регулатор притиска на обе пумпе подешен је тако да се очитава системски притисак од 130 bar [9].

Корисно оптерећење се везује за вибрациону хидрауличку платформу преко отвора на плочи. Конструктивно је решено да инерцијалне силе корисног оптерећења буду уравнотежене одговарајућим бројем вијака којима се везује испитна маса (максималне масе до 200 kg) постављена на платформу.

Хидрауличка платформа врши кретање у две међусобно управно постављене осе X и Z, посредством извршних елемената хидрауличких серво-цилиндара (НС1-за вертикалну осу, НС2-за хоризонталну осу). У хидрауличком колу оба серво-цилиндра налазе се хидраулички акумулатори (црвени на потисном воду, плави на повратном) ради елиминисања пулзација притиска уља. Они су декларисани за максимални притисак у систему од 160 bar. Радни притисак у оба пумпна кола је 130 bar. У разводном блоку хидрауличног цилиндра налазе се и два вентила сигурности који штите хидраулички цилиндар од могућности појаве врхова вишег притиска. Они су подешени на притисак отварања од 160 bar и несмеју се после подешавања дирати. У сваком од хидрауличких серво цилиндара је предвиђено хидраулично пригушење у крајњим положајима. Поред овога сваки од хидрауличких цилиндара поседује припадајуће серво-хидрауличке предпојачиваче (SHPP1, SHPP2) и електричне серво вентиле (SB1, SB2) са аналогним управљачким улазом 0-10V[9].

Мерење помераја по X и Z осе (за потребе провере уређаја) је остварено са индуктивним давачима хода DH1 и DH2, респективно. Сигнали са ових давача се посредством трансмитера DT1 и DT2 воде на улазе PI серво-контролера, преко тест тачака TP11 и TP21.

Детекције крајњих положаја хидрауличких цилиндара је остварена крајњим прекидачима (LS11 и LS12 за Z-осу и LS21 и LS22 за X-осу). Ови крајњи прекидачи су бесконтактни индуктивни прекидачи. Бесконтактни прекидачи обезбеђују радни опсег од $\pm 45\text{mm}$ амплитуде тако што искључују рад хидрауличких серво-цилиндара у случају да из неког разлога његов ход пређе наведену амплитуду [9].

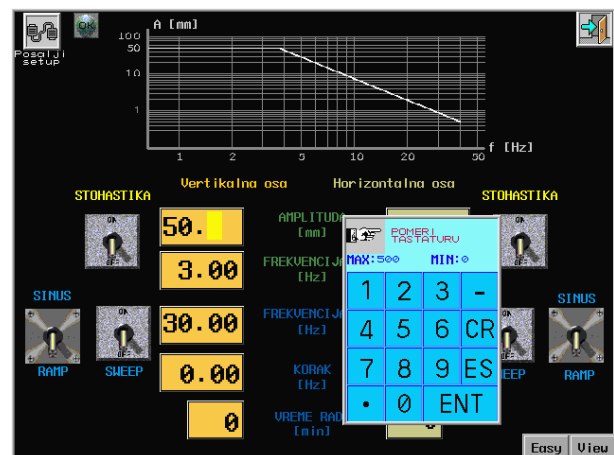
Изглед инсталираног хидродинамичког пулзатора и његових главних компоненти приказан је на сликама 24 до 29.



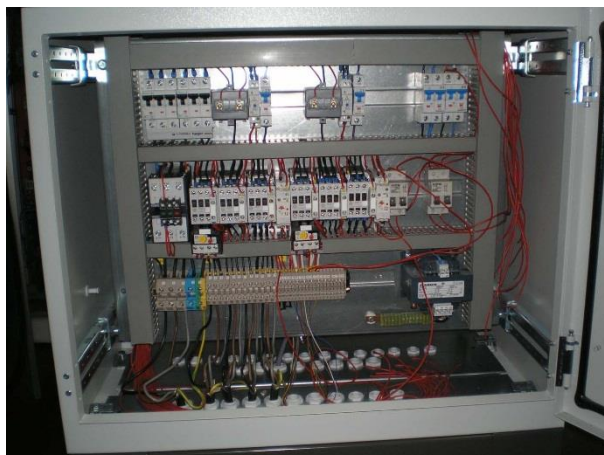
Слика 24 Изглед реализованог лабораторијског пулзатора HP-2007: 1 – хидрауличка платформа, 2 – управљачки пулт, 3 – хидраулички уљни резервоар, 4 – електромотори M1 и M2 пумпног агрегата [9]



Слика 25 Управљачког пулта пулзатора HP-2007



Слика 26 Изглед оператерског терминала управљачког пулта пулзатора HP2007 [9]



Слика 27 Изглед енергетског дела пулзатора НР-2007



Слика 28 Електромотори хидродинамичког пулзатора



Слика 29 Детаљ серво-хидрауличког појачивача по Х-оси: 1 – серво-хидраулички цилиндар, 2 – акумулатори, 3 – индуктивни сензори крајњих положаја цилиндра, 4 – серво-вентил, 5 – серво-разводна плоча [9]

3.2 Област употребе у техници испитивања возила

Хидродинамички пулзатор се може применити за лабораторијска испитивања утицаја вибрација на човека. Уз мале модификације, може се применити у аутомобилској индустрији, као интегрални део линије за испитивање возила на вибрације.

Примена хидродинамичког пулзатора може да обухвати и генерисање већ снимљене побуде у оригиналном облику, уз помоћ генератора сигнала који се налази у склопу уређаја.

Пулзатор се може применити и у лабораторијама за испитивања материјала, компоненти и разних склопова моторних возила.

4.Методологија мерења генерисаних побуда на осцилаторном тањиру хидродинамичког пулзатора

У овом поглављу је приказана развијена методологија мерења вертикалног и хоризонталног убрзања тањира двоканалног хидродинамичког пулзатора уз помоћ индуктивних давача убрзања.

4.1 Предмет мерења

У Лабораторији за моторна возила извршено је мерење вертикалних и хоризонталних убрзања осцилаторног тањира хидродинамичког пулзатора, уз помоћ индуктивних давача убрзања. Тако добијене информације говоре о побуди којој је изложено седиште постављено на хидродинамички пулзатор и изложено осцилаторној побуди са пулзатора.

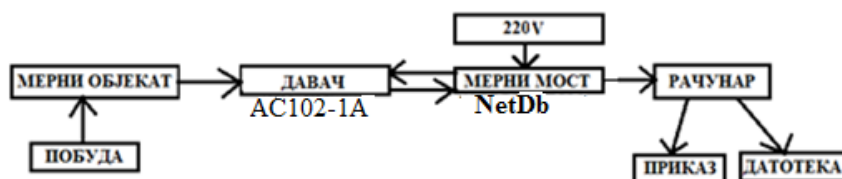
4.2 Мерне величине и начин њиховог мерења

Мерне величине које је потребно измерити су вертикално и хоризонтално убрзање осцилаторног тањира хидродинамичког пулзатора, као побуде седишта постављеног на пулзатор. Мерење убрзања је обављено уз помоћ давача убрзања *СТС АС102-1А*.

4.3 Опис опитне инсталације

4.3.1 Блок-шема опитне инсталације

На слици 30 приказана је блок-шема опитне инсталације коришћене при експерименталним истраживањима у Лабораторији за моторна возила.



Слика 30 Блок-шема опитне инсталације

Побуда је обезбеђена уз помоћ хидродинамичког пулзатора *HP-2007*. Вертикално и хоризонтално убрзање осцилаторног тањира је мерено уз помоћ давача убрзања *СТС АС102-1А*. Напајање давача убрзања и пренос сигнала убрзања ка рачунару обављено је уз помоћ мерно-појачавачког моста - дванаесто-каналног уређаја за аквизицију, *NetdB-DAQ12*. Снимање оригиналних датотека са експерименталним подацима, као и обрада експерименталних резултата обављена су уз помоћ лабораторијског рачунара.

4.3.2 Двоканални хидродинамички пулзатор

Основне карактеристике хидродинамичког пулзатора *HP-2007* приказане су у Табели 3.

Табела 3 Основне карактеристике хидродинамичког пулзатора *HP-2007* [9]

Напајање система	3x380 V, 50 Hz
Укупна инсталирана снага пумпи	2x7.5 kW при 380V, 50 Hz
Број пумпи	2 (вертикална и хоризонтална побуда)
Број цилиндара	2 (вертикална и хоризонтална побуда)
Проток сваке од пумпи	40 l/min
Максимални радни притисак	150 bar
Радни притисак	130 bar
Ход сваког цилиндра	±45 mm
Пречник клипа/клипњаче	Ø 50 mm/Ø 36 mm
Радна површина цилиндра	9,45 cm ²
Оптерећење вибрационе платформе	50 kg
Опсег учесталости вибрација-хоризонтална оса	0,1 Hz-35 Hz
Опсег учесталости вибрација-вертикална оса	0,1 Hz-35 Hz
Тип остварених вибрација	
по једној оси хоризонтално или вертикално	тестераста, опсег 0,1 Hz-35 Hz
по обе осе истовремено	троугао. опсег 0,1 Hz-35 Hz
стохастички	стохастичка побуда
пребрисавање опсега	SWEEP мод пребрисавања у опсегу 0,1 Hz-35 Hz

4.3.3 Индуктивни давач убрзања СТС АС102-1А

У табели 4 се могу видети најзначајније карактеристике давача убрзања СТС АС102-1А који је коришћен при испитивању побуде пулзатора [10].

Табела 4 Карактеристике давача убрзања СТС АС102-1А

	
Произвођач: СТС	Тип: АС102-1А
Осетљивост ±10%: 100 mV/g	Околина: Температурни опсег.....-50-121 °C Максимална заштита од вибрација...5000g/вршној вредности Заптивање.....Решено заваривањем
Фреквенција одзива: ±3dB.....0,5-15000 Hz ±10%.....2,0-10000 Hz	Физичке карактеристике: Осетни елемент.....PZT керамика Тежина.....90 g Материјал.....316 L Нерђајући челик Рупа за монтирање.....1/4-28 Конектор.....2 Pin MIL-C-5015 Интегрални кабл.....CB103 Армирани кабл....CB106 са армираном заштитом
Електро карактеристике: Потребан напон.....-18-30VDC Јачина електричне струје.....2-10-mA Електрични шум (типично): Широки спектар 2,5 Hz-25 kHz.....200 µg, rms Спектар 10Hz.....14 µg√Hz 100Hz.....2,3 µg√Hz 1000Hz.....2 µg√Hz Излазна отпорност.....<100 VDC Излазни напон.....10-14 Ω	Механичке карактеристике: Сопствена фреквенција.....23000 Hz Момент завијања.....2,7-6,8 Nm Опрема: Завртањ за спајање.....M6x1 Калибрациони сертификат.....CA10

4.3.4 Мерно-појачавачки мост

У датој табели 5 се могу видети карактеристике мерно-појачавачког моста NetdB-DAQ12 [11].

Табела 5 Дванаестоканални уређај за аквизицију NetdB-DAQ12

**Карактеристике хардвера:**

PC прикључак.....	Интернет кабл R145 100 Mbits
.....	2 USB прикључка у задњем делу
PDA прикључак.....	WiFi 802.11g 54 Mbits
Складиштење података.....	100 GB HDD
(12 сати континуалног мерења са 12 канала на 51,2 kHz 24 bit)	
Повезивање.....	12 канала који се могу везати до 51,2 kHz 24bit на сваком каналу
	NetdB-DAQ12 јединице
Конектори улаза.....	12 BNC конектора
Конектори излазног сигнала.....	2 BNC конектора
Дигитални улаз/излаз.....	RCA конектор за SPDIF In/Out
Дигитализација.....	24 bits линеарно
Фреквенција узорковања.....	51,2 kHz, 25,6 kHz, 12,8 kHz, 400 Hz

Карактеристике аналогног улаза:

Улазна отпорност.....	1 MΩ
Улазни опсези.....	10 V rms (-15 V to +15 V),
.....	1 V rms (-1,5 V до +1,5 V), 100 mV rms (-150 mV до +150 mV)
Максимални дозвољени напон.....	-20/+30 V peak
Напајање сензора.....	IEPE and TEDS (IEEE1451.4) компатибилан

Ниско пропусни филтер.....	DC, AC 0,3 Hz, AC 20 Hz
Динамички опсег.....	105 dB
Спољни тригер.....	BNC прикључак
Околина:	
Радна температура.....	0°C to 60°C
Температура/влажност/притисак током складиштења.....	-10 до 50°C, 10 - 90% RH (без кондензације), 500 - 1060 hPa
Радни положај.....	Хоризонтално и вертикално
Отпорност на вибрације.....	10 ms ⁻² (9-200 Hz), 3mm (2-9 Hz)
Отпорност на ударце.....	250 ms ⁻² (2 ms)
Класа вибрација.....	EN60721-3-4 class 4M5
Емисија буке.....	LWA 49dBA са укљученим вентилатором, LWA 33dBA вентилатор искључен, повезан са софтвером(ISO7779)
EMI.....	EN55011, EN55014, EN61000-4.2, EN61000-4.3, EN61000-4.4
	EN61000-4.5, EN61000-4.6, EN61000-4.11
Безбедност.....	UL3101-1; CSA C22.2 No.1010.1, EN 61010-1 A1+A2
Физичке карактеристике:	
Димензије.....	250 mm (ширина), 85 mm(висина), 263 mm(дужина)
Тежина.....	3.5 kg
Извор напајања:	
Батерије.....	Унутрашње NiMH 4000 mAh, 1H45
	континуално мерење на 12 канала
Адаптер.....	Спољашњи 100/240 VAC, - 50-60 Hz, 20 W,
	једносмерна струја 9-18 V са прикључком

4.4 Режим рада

Приликом извођења експеримента, примењени су следећи режими рада:

- за истовремено побуђивање у оба правца - фреквенција побуде 5 Hz, ход осцилаторног тањира 2 mm
- за побуђивање само у једном правцу - фреквенција побуде 5 Hz, ход осцилаторног тањира 10 mm.

За оба случаја побуде је изабран синусни облик функције побуде. Мерења се изводе током 3 s.

4.5 Поступак рада

Пре постављања индуктивних давача убрзања на мерно место, врши се њихова калибрација, слика 36.



Слика 34 Калибрација индуктивног давача

После калибрације, давачи се уз помоћ магнета постављају на мерно место - осцилаторни тањир и то у хоризонталној и вертикалној оси, слика 37.



Слика 37 Постављање давача убрзања на мерно место

Давачи се повезују на мерно-појачавачки мост, који се прикључује на напајање наизменичном струјом напона 220 V.

Излазни подаци о убрзању у вертикалном и хоризонталном правцу шаљу се на рачунар. Подаци се могу сачувати у датотекама или се могу директно приказати на екрану рачунара и накнадно обрадити.

4.6 Планирани начин приказивања резултата мерења

Планирано је да се прикупљени подаци чувају у датотекама на рачунару. Подаци о калибрацији давача и резултатима мерења се затим приказују дијаграмски, коришћењем програма Microsoft Excel.

5. Приказ и анализа резултата мерења

5.1 Резултати мерења побуде по једној оси

5.1.1 Побуда само у вертикалном правцу

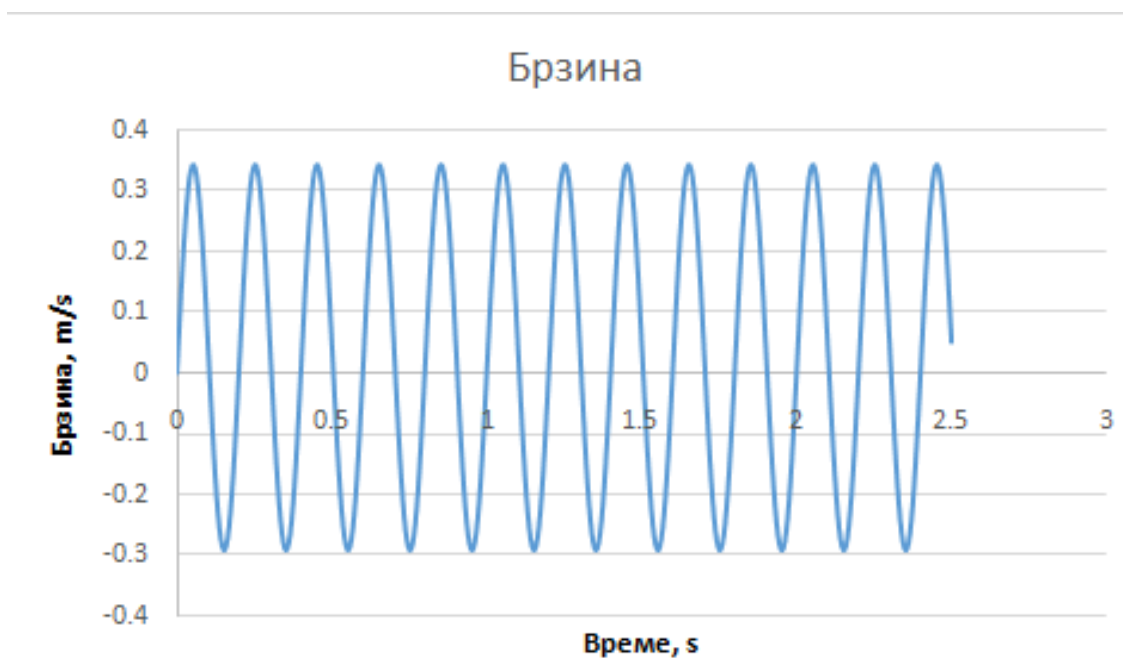
Мерење вертикалног убрзања осцилаторног тањира хидродинамичког пулзатора је вршено у периоду од 3 s, фреквенција сигнала је била 5 Hz, а ход осцилаторног тањира од 10 mm, при синусној побуди. Снимљене вредности убрзања на осцилаторном тањиру могу се видети на дијаграму који је приказан на слици 38.



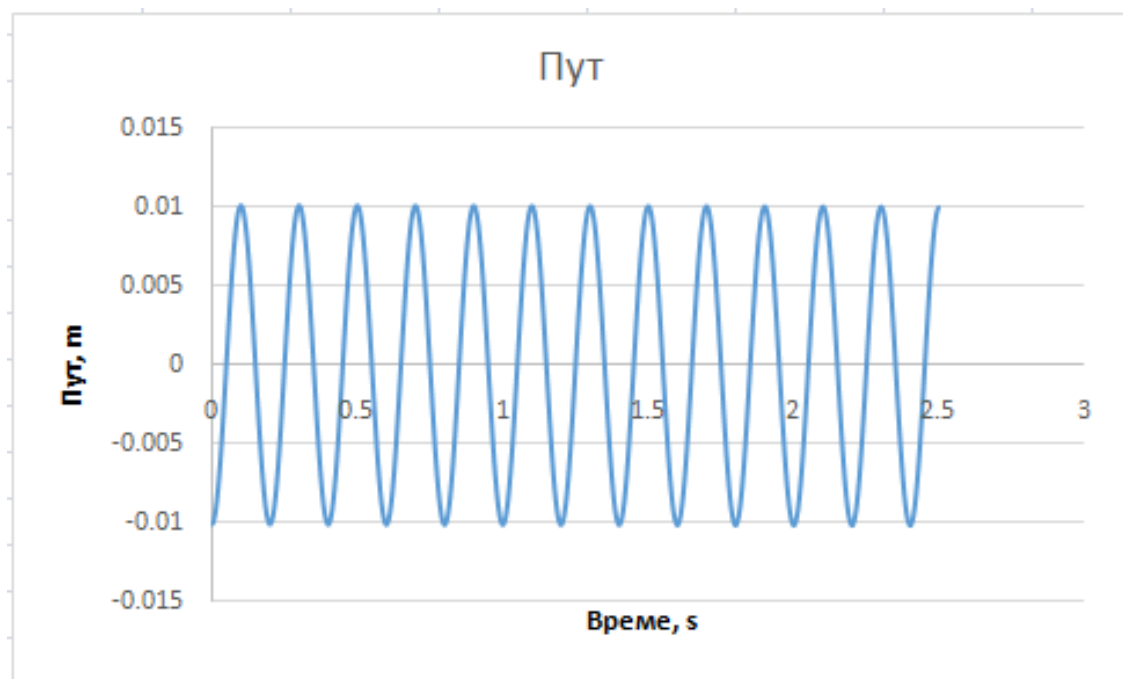
Слика 38 Дијаграм вертикалног убрзања тањира пулзатора

Нумеричким интеграљењем вредности добијених за вертикално убрзање, добија се брзина кретања осцилаторног тањира у вертикалном правцу. Дијаграм брзине приказан је на слици 39.

Интеграљењем вредности добијених за брзину кретања, добија се снимљени пут (ход) осцилаторног тањира. Дијаграм пута се може видети на слици 40. Са дијаграма се види да је снимљена амплитуда хода од 0,01 m, односно 10 mm, што одговара задатој вредности побуде према плану испитивања.



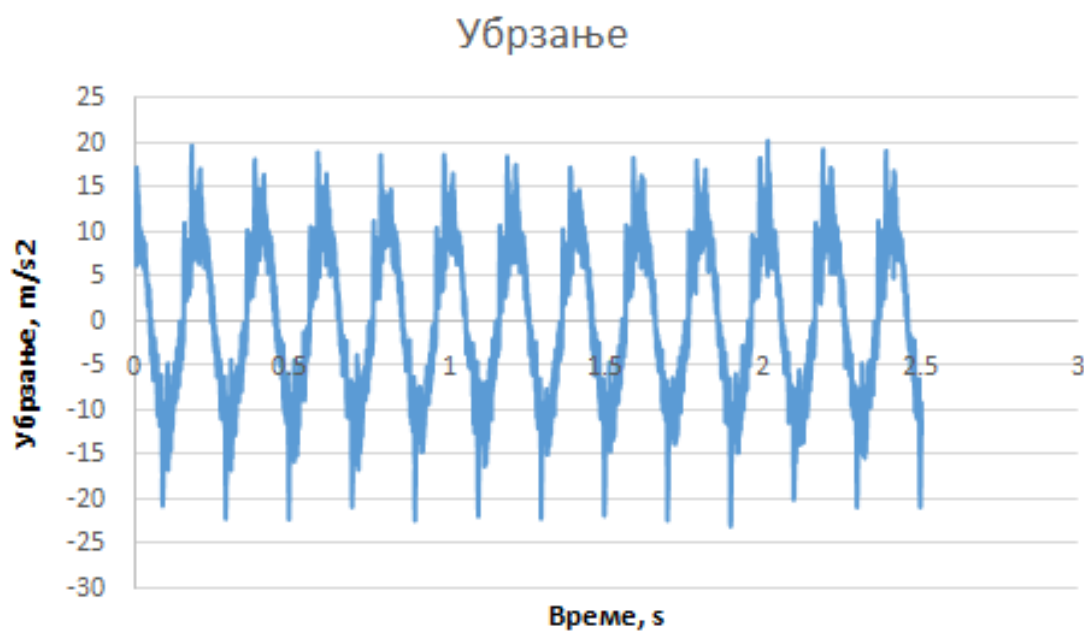
Слика 39 Дијаграм брзине осцилаторног тањира у вертикалном правцу



Слика 40 Дијаграм хода осцилаторног тањира у вертикалном правцу

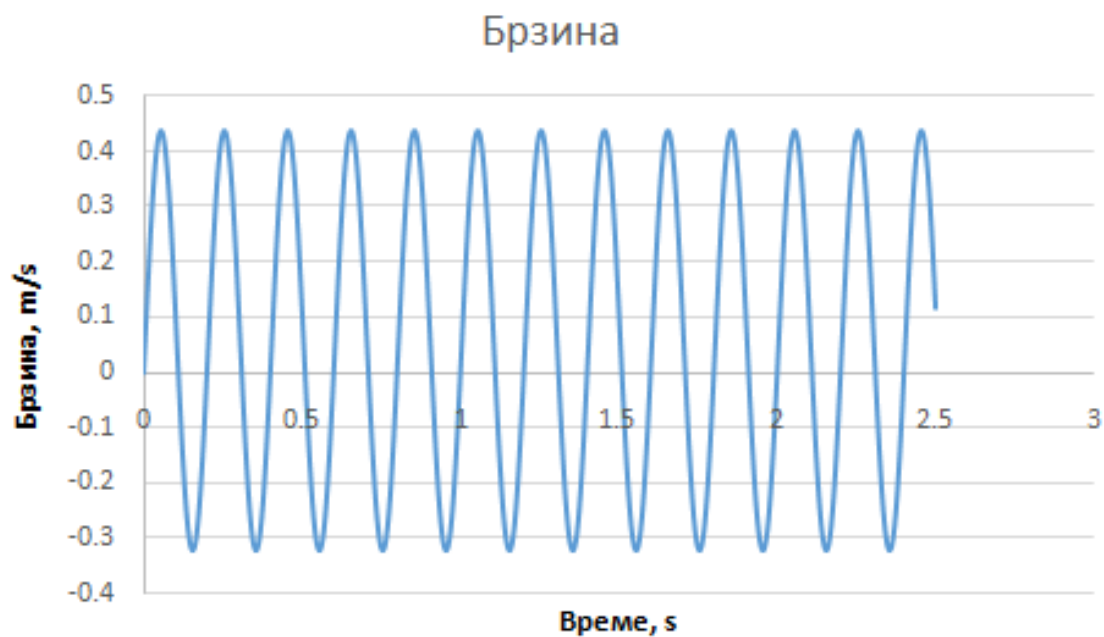
5.1.2 Побуда само у хоризонталном правцу

Мерење побуде осцилаторног тањира само у хоризонталном правцу вршено је у периоду од 3 s, при фреквенцији побуде од 5 Hz и при ходу од 10 mm. Задата побуда је у облику синусне функције. Добијене вредности хоризонталног убрзања могу се видети на дијаграму који је приказан на слици 41.

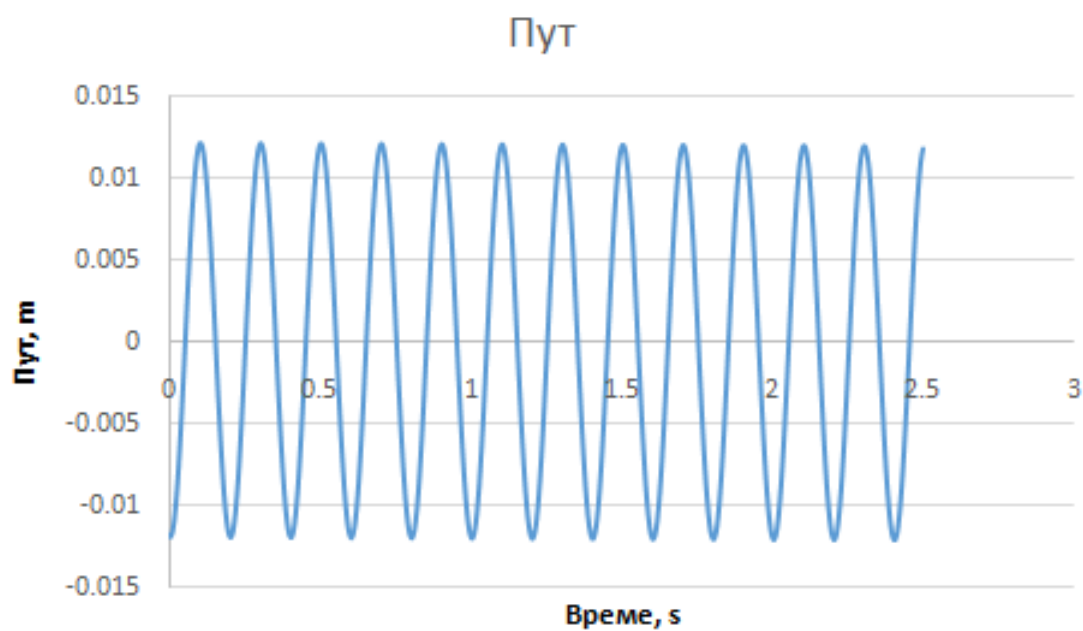


Слика 41 Дијаграм убрзања осцилаторног тањира при хоризонталној побуди

Интеграљењем функције хоризонталног убрзања добија се хоризонтална брзина осцилаторног тањира, слика 42, а двоструком интеграцијом добија се хоризонтално убрзање осцилаторног тањира, слика 43.



Слика 42 Дијаграм брзине осцилаторног тањира у хоризонталном правцу



Слика 43 Дијаграм хода осцилаторног тањира у хоризонталном правцу

Са дијаграма на слици 43 се види да ход у хоризонталном правцу има 20% већу вредност амплитуде од задате.

5.2 Резултати мерења истовремене побуде вертикалном и хоризонталном правцу

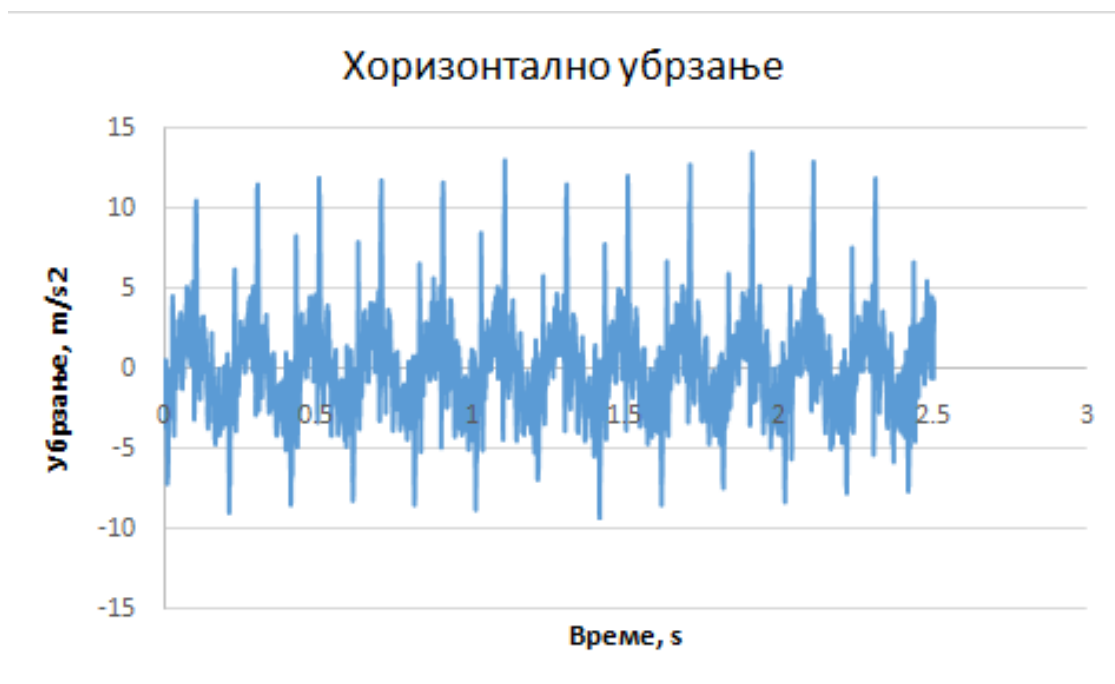
Истовремено мерење вертикалног и хоризонталног убрзања осцилаторног тањира хидродинамичког пулзатора обављено је у периоду од 3 s, при фреквенцији побуде од 5 Hz и при ходу од 2 mm, при синусној побуди. Снимљене вредности убрзања у вертикалном и хоризонталном правцу могу се видети на дијаграмима који су приказани на сликама 44 и 45.

На сликама 46 и 47 се може видети да постоје ефекти шума у сигналу. То може бити последица постојања мањих удара у механичком систему пулзатора услед кретања система истовремено у два правца, али и малог хода тањира од 2 mm.

На сликама 48 и 49 се могу видети дијаграми брзина кретања осцилаторног тањира у вертикалном и хоризонталном правцу, добијени интеграљењем сигнала снимљених убрзања.



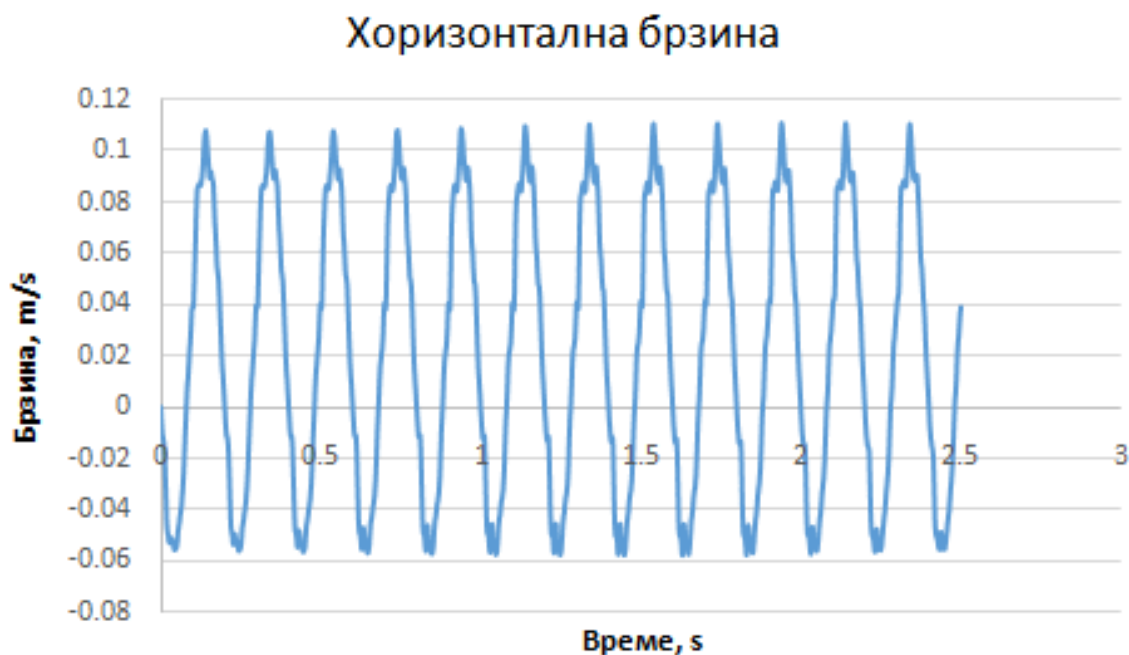
Слика 44 Убрзање осцилаторног тањира у вертикалном правцу при истовременом побуђивању у оба правца



Слика 45 Убрзање осцилаторног тањира у хоризонталном правцу при истовременом побуђивању у оба правца

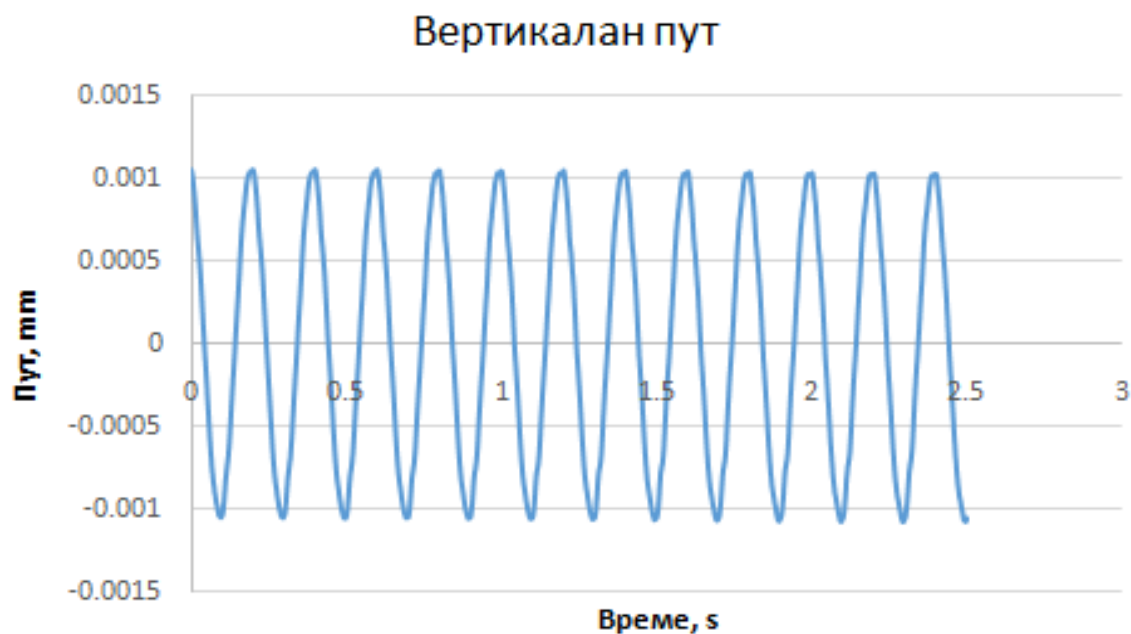


Слика 46 Брзина осцилаторног тањира у вертикалном правцу при истовременој побуди у оба правца

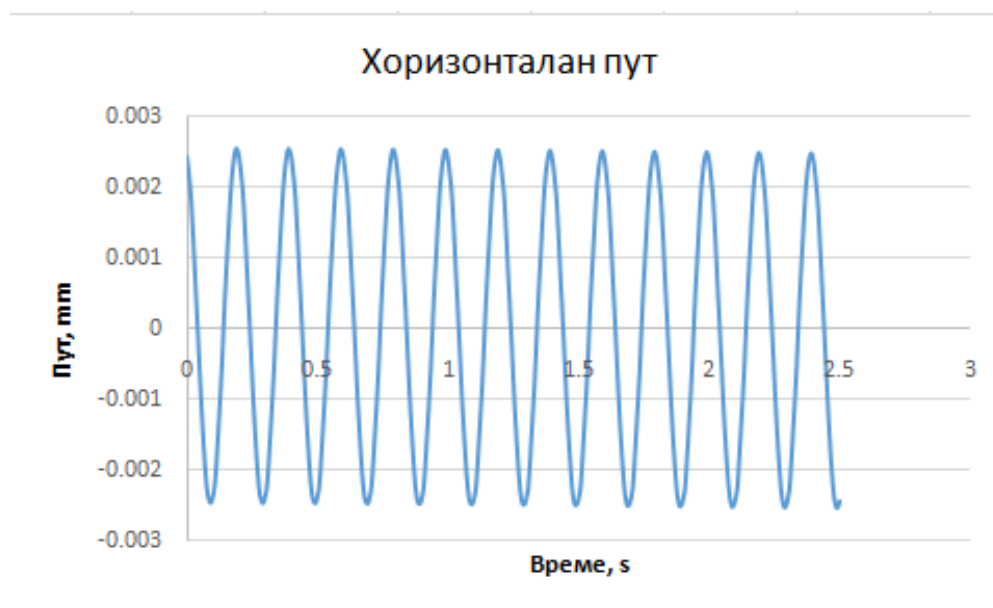


Слика 47 Брзина осцилаторног тањира у хоризонталном правцу при истовременој побуди у оба правца

На сликама 48 и 49 могу се видети дијаграми хода осцилаторног тањира у вертикалном и хоризонталном правцу, при истовременој побуди у оба правца.



Слика 48 Ход осцилаторног тањира у вертикалном правцу при истовременој побуди у оба правца



Слика 49 *Ход осцилаторног тањира у хоризонталном правцу при истовременој побуди у оба правца*

Са дијаграма се може видети да је у вертикалном правцу амплитуда хода дупло мања од задате, док се у хоризонталном правцу добија повећање амплитуде у односу на задату. Такође може се видети да се за ход добија чиста синусна функција побуде.

На слици 50 може се видети прорачуната трајекторија тачке у којој су постављени давачи убрзања, приликом кретања осцилаторног тањира пулзатора у оба правца.



Слика 50 *Трајекторија тачке везе давач за осцилаторни тањир при побуди у оба правца*

Са дијаграма 50 се може закључити да приликом посматрања кретања једне тачке која се креће у равни (у оба правца истовремено) она прелази задату амплитуду - ход од 2mm.

5.3 Спектрална анализа експерименталних резултата

За свеслучајеве побуде, одрађена је и спектрална (*FFT*) анализа, уз помоћ софтверског програма *Origin Pro*.

На слици 51 приказан је спектар убрзања осцилаторног тањира при побуди само у вертикалном правцу. Видљиво је да је максимална вредност амплитуде спектра убрзања детектована на фреквенцији од 5 Hz, што је и била задата фреквенција побуде. На истом дијаграму су видљиве и вршне вредности малих амплитуда на фреквенцијама које представљају умношке основне фреквенције, што је последица спектралне анализе.

На слици 52 дат је спектар убрзања при побуди самоу хоризонталном правцу. Максимална вредност амплитуде спектра је уочена на фреквенцији од 5 Hz, што одговара задатој фреквенцији побуде. Са дијаграма се, такође, може видети да је амплитуда спектра хоризонталног убрзања за 20% већа од амплитуде спектра убрзања у вертикалном правцу, при истим условима побуђивања (задатим ходовима).

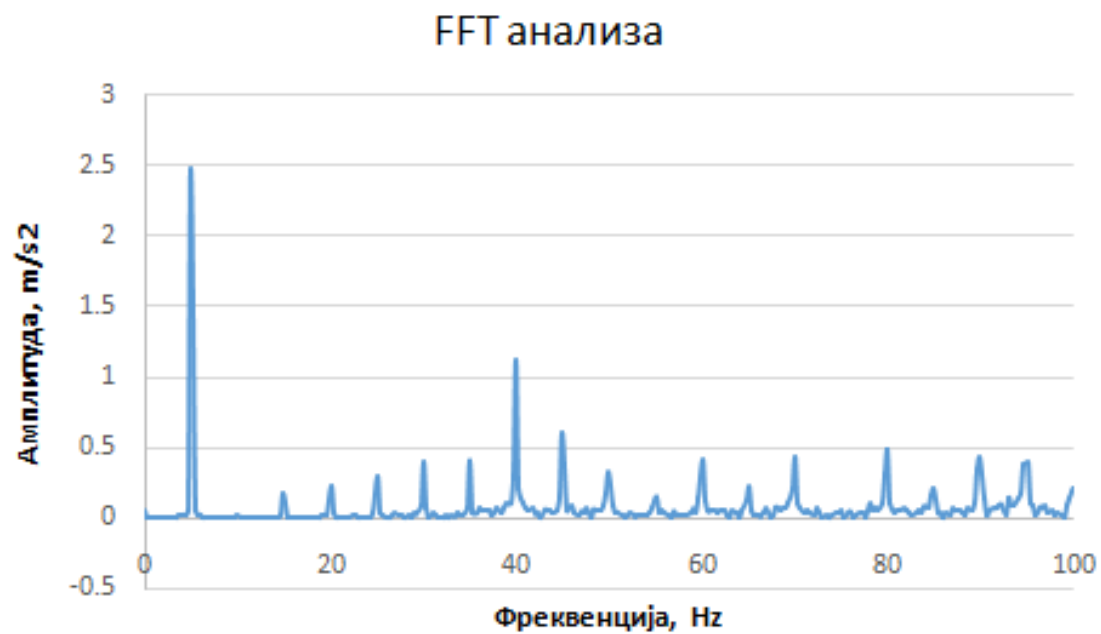
На слици 53 се може видети дијаграм спектра убрзања осцилаторног тањира приликом истовременог побуђивања у оба правца (вертикалном и хоризонталном).



Слика 51 Спектрална анализа убрзања у вертикалном правцу



Слика 52 Спектрална анализа убрзања у хоризонталном правцу



Слика 53 Спектрална анализа убрзања при промене побуде у оба правца

6. Закључак

Испитивање моторних возила је релативно млада научна дисциплина, која се бави испитивањем пројектованог возила, односно његових компонената, пре свега у условима експлоатације.

Методологија испитивања представља скуп принципа, процедура и вештина примењених у истраживању, који обухвата цео процес спровођења истраживања. Испитивање моторних возила, њихових склопова и елемената, спроводе се по посебним методологијама.

Давач или сензор је уређај који мери физичку величину (температуру, притисак, број обртаја мотора) и претвара је у сигнал који је погодан за даљу обраду.

У оквиру овог мастер рада, извршено је мерење вертикалних и хоризонталних убрзања осцилаторног тањира двоканалног хидродинамичког пулзатора у Лабораторији за моторна возила Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

Примена пулзатора у техници испитивања моторних возила је јако разноврсна, док је сам вид испитивања брз и тачан. Пулзатори се користе како за испитивање утицаја вибрација и побуда на возило, тако и њиховог утицаја на самог човека.

У индустрији се користе три основна типа пулзатора (побуђивача вибрација): хидраулички, инерцијални и електромагнетни.

Типични хидраулични пулзатор се састоји од склопа цилиндар-клип, серво вентила, пумпе за течност и погонског електромотора. Хидраулички пулзатори су најпогоднији за испитивање тешких објеката. Могу да раде како на веома ниским фреквенцијама, тако и на средњим, док су на ниским фреквенцијама могућа велика померања. Предност хидрауличких пулзатора је зато што пружају велику флексибилност рада током испитивања: испитивање са константним и променљивим силама и испитивање при широкопојасној случајној побуди.

Код инерцијалних пулзатора, сила која изазива кретање тањира је генерисана од стране инерцијалних сила убрзаних маса. У ову категорију спадају инерцијални пулзатори са ротационим контра ротирајућим масама.

Електромагнетни пулзатори кретање генеришу користећи принцип рада електромотора. Сила побуде настаје када променљиви (електрични) сигнал побуде прође кроз покретни намотај који се налази у магнетном пољу.

Двоканални хидродинамички пулзатор Факултета инжењерских наука је намењен за испитивање елемената и система возила, као и утицаја вибрација на човека, односно у ергономске сврхе, применом различитих побуда (синусна, тестераста и рампа функција). Зато је мерење побудног убрзања од велике важности за анализу резултата мерења.

За мерење убрзања употребљени су индуктивни давачи убрзања *СТС АС102-1А* које поседује Лабораторија за моторна возила и чије карактеристике одговарају потребама мерења на двоканалном хидро-динамичком пулзатору.

Испитивања су вршена само при једном облику побуде (синусна побуда), при фреквенци од 5 Hz и при ходу од 2 mm, када се примени кретање у оба расположива правца, и 10 mm, када се примени појединачна побуда у хоризонталном или вертикалном правцу. Циљ мерења је било одређивање вредности убрзања која при испитивању делују на улаз у систем елемента возила које се испитује на пулзатору.

Добијени резултати мерења показују да се у вертикалном правцу на тањиру пулзатора добија ход која одговара задатој побуди, док се у хоризонталном правцу добијају 20% веће вредности хода од задатог. Исти закључак је добијен и при спектралној анализи. То указује да се ово понашање при хоризонталној побуди мора узети у обзир при испитивањима на хидро-динамичком пулзатору.

7. Литература

- [1] Милорадовић, Д., Тарановић, Д.: „Испитивање моторних возила и мотора 2“ (скрипта у електронском облику), Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2020.
- [2] Тодоровић, Ј.: „Испитивање моторних возила“, Машински факултет у Београду, Београд, 1995.
- [3] Klyatis, L. M.: “Accelerated reliability and durability testing technology”, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2012
- [4] De Silva, C. W.: “Vibration Monitoring, Testing, and Instrumentation”, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, 2007
- [5] MTS: “MTS Tire Patch Exciter – Quick and Easy Evaluation of the Effects of Horizontal Vehicle Vibration”, MTS Systems Corporation, Eden Prairie, 2001
- [6] Centro Ricerche Fiat: “Static suspension characterisation facility”, Centro Ricerche Fiat, Torino, 2002
- [7] MTS: “Model 329 Multiaxial Spindle-Coupled Road Simulators”, MTS Systems Corporation, Eden Prairie, 2019
- [8] Peeters, B. et al.: “Performance of miniature shakers for vehicle component testing”, LMS International, Leuven, 2003
- [9] Деспотовић, Ж. Ета.: „Сервохидраулички управљачки систем хидродинамичког пулзатора НР-2007“, Техничко решење, Институт „Михајло Пупин“, Београд, 2008.
- [10] CTC: “AC 102 Series - Multipurpose accelerometer Data Sheet”, Connection Technology Center Inc., New York, 2010
- [11] AREVA: “NetdB DAQ12 - Product information sheet“, AREVA, Paris, 2000