

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Испитивање МВМ

Број индекса: 84/2012

Андријана З. Алемпијевић

Примена индуктивних давача у испитивању моторних возила и мотора завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. проф. др Данијела Милорадовић, ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру завршног рада студент треба да:

- изложи основне физичке принципе на којима је заснован рад индуктивних давача,
- прикаже класификацију и област употребе индуктивних давача,
- илуструје и анализира примену индуктивних давача у техници испитивања различитих елемената и система моторних возила,
- прикаже методологију мерења убрзања осцилаторних тањира механичког пулзатора уз помоћ индуктивних давача и
- прикаже и анализира резултата експерименталних мерења

Препоручена литература:

- [1] Тодоровић, Ј.: „Испитивање моторних возила“; Машински факултет Београд, 1985.
- [2] Поповић, М.: „Сензори и мерења“, Завод за уџбенике и наставна средства, Српско Сарајево, 2004.
- [3] HBM: “Acceleration transducer B12 – Mounting instructions”, HBM, 2000.

Крагујевац, јун 2017. год.

Ментор:

др Данијела Милорадовић, доцент

Резиме

У оквиру завршног рада биће говора о индуктивним давачима, како о њиховој историји и подели, тако и о њиховој примени у аутомобилској индустрији. Конкретно, биће говора о примени индуктивних давача у испитивању моторних возила и мотора илустрованој на примеру мерења вертикалних убрзања осцилаторних тањира механичког пулзатора Лабораторије за моторна возила Факултета инжењерских наука. Такође, у завршном раду су приказани метода калибрације индуктивних давача, начин њихове употребе при мерењу, као и добијени резултати.

Кључне речи: индуктивни давач, испитивање возила, мерење убрзања

Abstract

In this final paper, inductive sensors will be discussed – their history and types as well as their application in the automotive industry. In particular, the application of inductive sensors in the testing of motor vehicles and engines will be described and illustrated with the example of measurement of the vertical accelerations of the mechanical oscillator plates from the Laboratory of motor vehicles of the Faculty of engineering. Transducer calibration mode, as a display of the results. Calibration method for the inductive sensors, their application during measurements and the obtained measurement results were also presented in the final paper.

Key words: inductive sensor, vehicle testing, acceleration measurements

Садржај

1. УВОД.....	1
1.1 УКРАТКО О ИСПИТИВАЊУ МОТОРНИХ ВОЗИЛА И МОТОРА	1
1.2 МЕТОДОЛОГИЈА ИСПИТИВАЊА МОТОРНИХ ВОЗИЛА И МОТОРА	2
1.3 ДАВАЧИ.....	3
2. ОСНОВНИ ФИЗИЧКИ ПРИНЦИПИ НА КОЈИМА ЈЕ ЗАСНОВАН РАД ИНДУКТИВНИХ ДАВАЧА	7
3. КЛАСИФИКАЦИЈА И ОБЛАСТ УПОТРЕБЕ ИНДУКТИВНИХ ДАВАЧА.....	9
3.1 КЛАСИФИКАЦИЈА ИНДУКТИВНИХ ДАВАЧА	9
3.1.1 Индуктивни давачи са клизним контактом.....	9
3.1.2 Индуктивни давачи са померљивим језгром.....	10
3.1.3 Индуктивни давачи са променом међуиндуктивности	10
3.1.4 Индуктивни давачи са променом магнетног пермеабилитета	11
3.2 ОБЛАСТ УПОТРЕБЕ ИНДУКТИВНИХ ДАВАЧА	12
4. ПРИМЕРИ ПРИМЕНЕ ИНДУКТИВНИХ ДАВАЧА У ТЕХНИЦИ ИСПИТИВАЊА РАЗЛИЧИТИХ ЕЛЕМЕНАТА И СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА	13
4.1 ИНДУКТИВНИ ДАВАЧ ВЕРТИКАЛНОГ УБРЗАЊА ОСЦИЛАТОРНОГ ТАЋИРА ПУЛЗАТОРА ЗА ИСПИТИВАЊЕ ЕЛЕМЕНАТА И СИСТЕМА МОТОРНИХ ВОЗИЛА	13
4.2 ИНДУКТИВНИ ДАВАЧ БРЗИНЕ КРЕТАЊА ВОЗИЛА	13
4.3 ИНДУКТИВНИ ДАВАЧ БРОЈА ОБРТАЈА ТОЧКОВА.....	16
4.3.1 Примена	16
4.3.2 Конструкција и принцип рада.....	16
4.3.3 Пасивни (индуктивни) давач брзине точка	16
4.4 ДАВАЧ ПОЛОЖАЈА КОЛЕНАСТОГ ВРАТИЛА (РАДИЛИЦЕ)	18
4.5 ДАВАЧ ПОЛОЖАЈА БРЕГАСТОГ ВРАТИЛА	19
5. МЕТОДОЛОГИЈА МЕРЕЊА ВЕРТИКАЛНИХ УБРЗАЊА ОСЦИЛАТОРНИХ ТАЋИРА МЕХАНИЧКОГ ПУЛЗАТОРА УЗ ПОМОЋ ИНДУКТИВНИХ ДАВАЧА	21
5.1 ПРЕДМЕТ МЕРЕЊА.....	21
5.2 МЕРНЕ ВЕЛИЧИНЕ И НАЧИН ЊИХОВОГ МЕРЕЊА	21
5.2.1 Индуктивни давач убрзања НВМ В12/200 [6]	21
5.3 ОПИС ОПИТНЕ ИНСТАЛАЦИЈЕ	25
5.3.1 Механички пулзатор	25
5.3.2 Блок-шема опитне инсталације	27
5.4 РЕЖИМ РАДА	27
5.5 ПОСТУПАК РАДА	27
5.6 ПЛАНИРАНИ НАЧИН ПРИКАЗИВАЊА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА.....	27
6. ПРИКАЗ И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОГ МЕРЕЊА	28
6.1 КАЛИБРАЦИЈА ДАВАЧА УБРЗАЊА НВМ В12/200	28
6.2 ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА	29
7. ЗАКЉУЧАК.....	30
ЛИТЕРАТУРА	32

1. Увод

1.1 Укратко о испитивању моторних возила и мотора

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.

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.

1.2 Методологија испитивања моторних возила и мотора

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
- 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 .

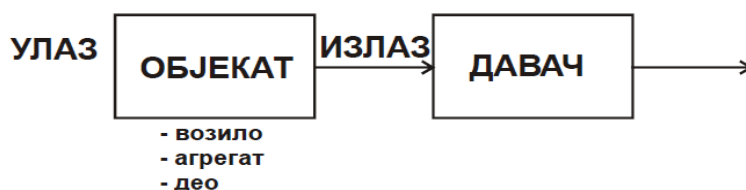
За остале врсте испитивања, методологије се, по правилу, не стандардизују на националном или међународном плану. Многи поступци испитивања радних оптерећења и поузданости, међутим, стандардизују се на нивоу фабрика и произвођача возила. Ови стандарди нису доступни јавности и третирају се као пословне 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.**

1.3 Давачи

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,
- хидраулични,
- електрични или електронски и
- комбиновани.

Електрични давачи могу бити[3]:

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

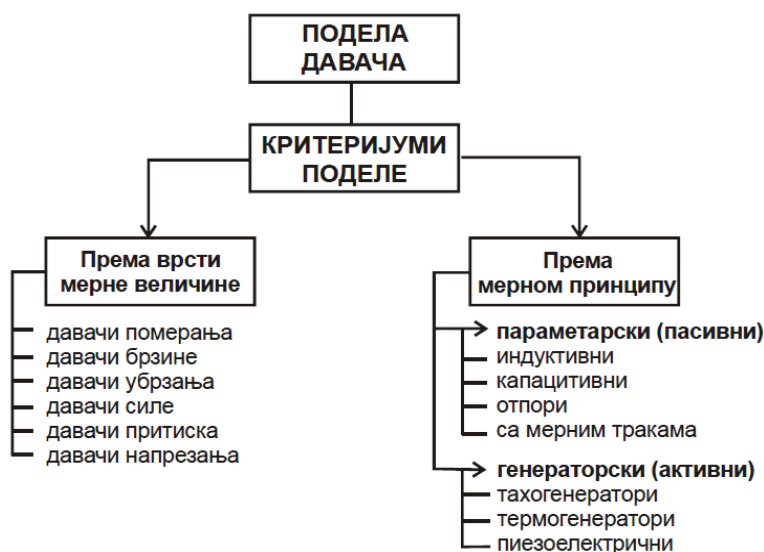
По облику, излазни сигнали давача могу бити:

- 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.

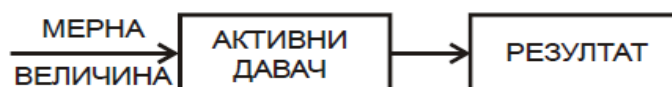


Слика 2 Подела давача[1]

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

1. Активни (генераторски) давачи

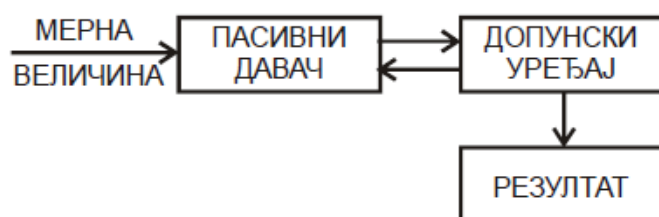
Активни давачи, слика 3, представљају генераторе електричне струје, јер под утицајем мерне величине, сами генеришу електричну енергију. Мерење се своди на мерење напона или јачине струје који се генеришу, а који су сразмерни мерној величини. Активни давачи су једноставне конструкције са недостатком да 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]

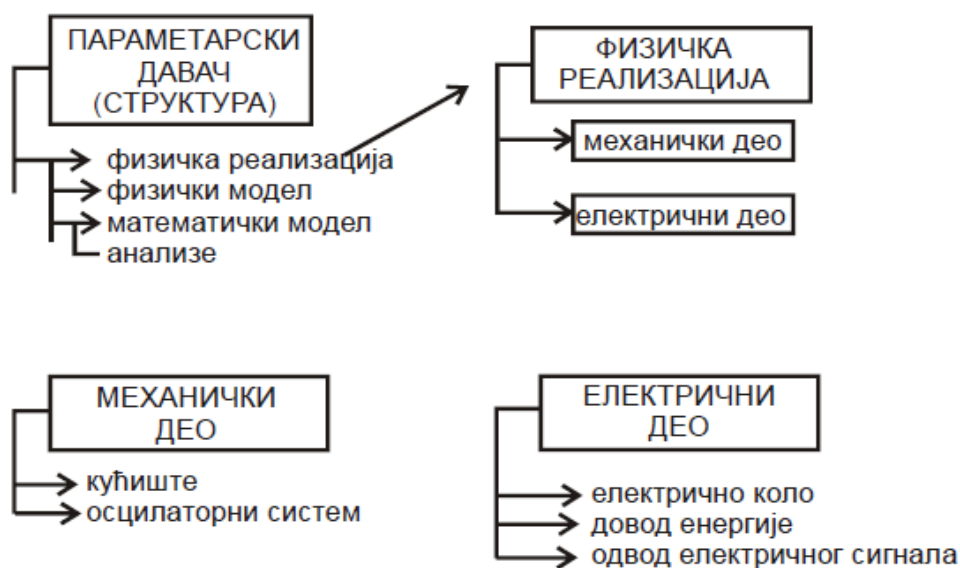
2. Пасивни (параметарски)давачи

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].



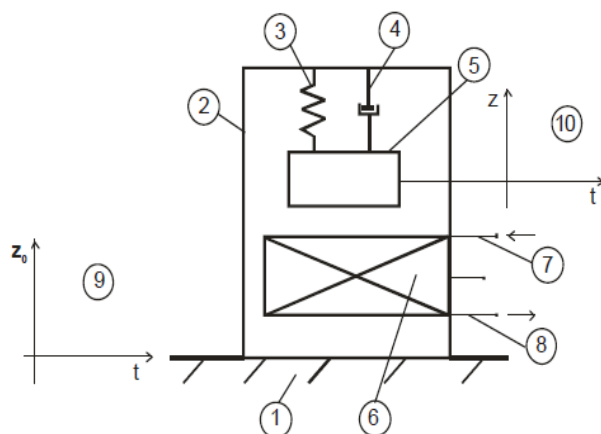
Слика 4 Пасивни давач [1]

Структура параметарских давача приказана је на слици 5.



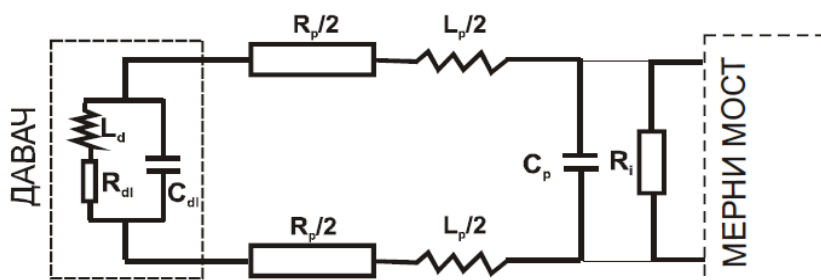
Слика 5 Структура параметарских давача[1]

Механички део физичке реализације структуре давача чине следећи елементи, слика 6.



Слика 6 Механички део давача: 1- мерни мост, 2- кућиште (у коме се налази осцилаторни систем), 3- опруга (еластични елемент), 4- пригушивач, 5- сеизмичка маса (осцилује у кућишту), 6- црна кутија (посебна за сваку врсту давача), 7- довод енергије, 8- одвод електричног сигнала, 9- померање и 10- сигнал)[1]

Електрични део давача састоји се од блока давача (у коме постоје индуктивност, отпор, капацитивност), који је кабловима повезан са мерним мостом. Мерни мост преноси мерни сигнал кроз мерну инсталацију, слика 7.



Слика 7 Електрични део давача [1]

2. Основни физички принципи на којима је заснован рад индуктивних давача

Индуктивни давачи спадају у категорију пасивних давача. Рад индуктивних давача заснива се на зависности индуктивности калема од промене отпора електромагнетног кола или на електромагнетној индукцији [4].

У индустријској примени, индуктивни давачи су у данашње време неопходни. У поређењу са механичким давачима они нуде више предности:

- бесконтактни принцип (нема хабања, век трајања је практично неограничен),
- заштићени од супротног поларитета напајања и кратког споја на излазу и
- неосетљиви на вибрације, прашину и влагу (могу да раде под екстремно тешким условима).

Већина индуктивних давача има стандардна одступањатачног мерења од 0,5% пуне скале. Најбоље резултате дају када им је излазни сигнал у опсегу од 4-20mA.

Пример изгледа једног индуктивног давача, дат је на слици 8.



Слика 8 Индуктивни давач апсолутног убрзања HBM B12/200

Основни елемент ових давача је електрична завојница, чија је индуктивност, L , дефинисана изразом [3]:

$$L = \mu n^2 A / l, \text{ H}$$

где су:

μ - магнетна проводљивост језгра, H/m,

n - број навоја електричне завојнице, - ,

A - површина попречног пресека електричне завојнице, m²,

l - просечна дужина магнетних линија силе, m.

Основни принцип рада индуктивних давача темељи се на чињеници да механичка мерна величина изазива промену индуктивности завојнице, L . Променом индуктивности мења се и укупан отпор једног таквог елемента који је одређен изразом:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}, \Omega,$$

где је:

R, Ω - омски отпор завојнице,

$\omega L, \Omega$ - индукцијски отпор завојнице,

L, H - индуктивност завојнице и

$\omega, 1/s$ - кружна фреквенција електричне струје.

Притом је:

$$\omega = 2\pi f,$$

где је: f, Hz - фреквенција струје којом се напаја завојница.

3. Класификација и област употребе индуктивних давача

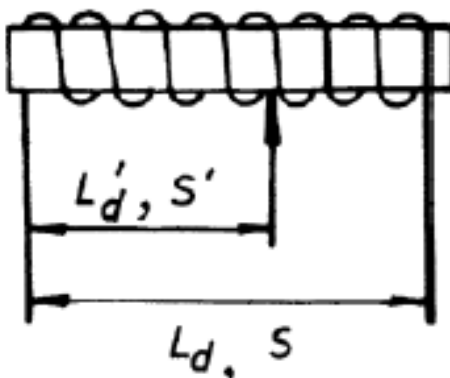
3.1 Класификација индуктивних давача

С обзиром на примењени принцип за промену индуктивности, постоји неколико врста индуктивних давача. Најчешће се користе [1, 2]:

- индуктивни давачи са клизним контактом,
- индуктивни давачи са померљивим језгром,
- индуктивни давачи са променом међуиндуктивности и
- индуктивни давачи са променом магнетног пермеабилитета.

3.1.1 Индуктивни давачи са клизним контактом

Ови давачи су најпростији, али најмање коришћени. Принцип рада заснива се на промени броја активних навојака, слика 9



Слика 9 Индуктивни давач са клизним контактом [2]

Рад давача се заснива на односу:

$$L'_d = L_d \frac{s'}{s}.$$

Највећи недостатак ових давача је постојање прелазних отпора на клизачу.

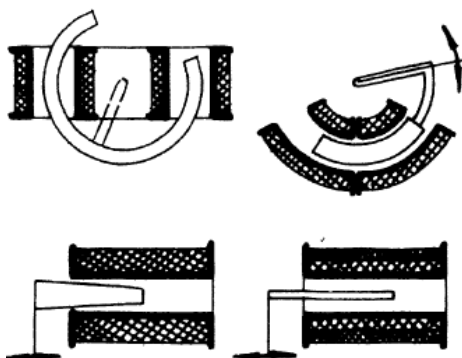
Пример индуктивног давача са клизним контактом дат је на слици 10.



Слика 10 Индуктивни давач HBM W1ELA/0

3.1.2 Индуктивни давачи са померљивим језгром

Ови давачи се користе за мерење транслаторних и угаоних померања, слика 11.



Слика 11 Индуктивни давач са померљивим језгром [2]

Функција којом се одређује промена индуктивности, дата је изразом:

$$\frac{\Delta L_d}{L_d} = \frac{1}{1 + \frac{\frac{l_v}{\mu_v}}{\frac{F_{\text{max}}}{\mu F_e}}}$$

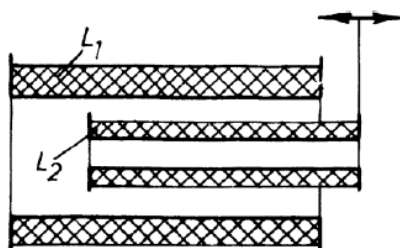
Пример давача са померљивим језгром дат је на слици 12.



Слика 12 Давач линеарног померања BALLUFF QO5

3.1.3 Индуктивни давачи са променом међуиндуктивности

Овакав тип давача највише се примењују у техници испитивања. Функционишу на принципу промене међуиндуктивности која настаје између два проводника, који, сваки засебно, поседује одређену индуктивност, слика 13.



Слика 13 Индуктивни давач са променом међуиндуктивности [2]

Промена међуиндуктивности се изазива променом међусобног положаја ова два намотаја:

$$\text{Редна веза: } L = L_1 + L_2 \pm 2M,$$

$$\text{Паралелна веза: } L = \frac{L_1 L_2 - 2M}{L_1 + L_2 \pm 2M},$$

где је са M означена међуиндуктивност која се најчешће одређује експериментално током калибрисања давача.

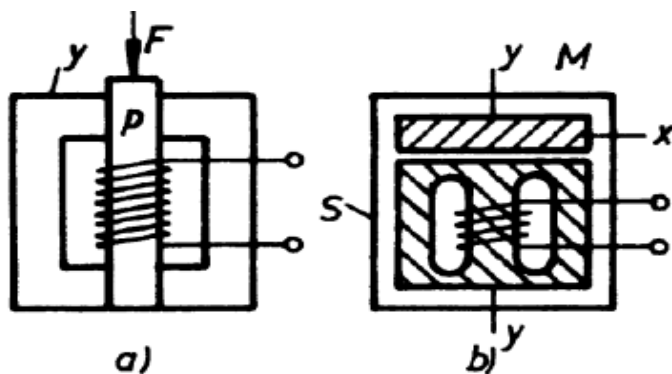
На слици 14 дат је пример индуктивног давача са променом међуиндуктивности.



Слика 14 Индуктивни давач нивоа горива LT0600

3.1.4 Индуктивни давачи са променом магнетног пермеабилитета

Давачи ове врсте заснивају рад на основу промене димензија делова под утицајем дејства магнетног поља, односно, на промени магнетних особина (пермеабилитета) при променама напонских стања, слика 15. Примена ових давача није широка због нелинеарних карактеристика и велике осетљивости на високе температуре.



Слика 15 Индуктивни давачи са променом магнетног пермеабилитета: (а) Давач за мерење силе, (б) Давач успорења са инерцијалном масом M [2]

Пример давача са променом магнетног пермеабилитета дат је на слици 16.



Слика 16 *Индуктивни давач FIPA GR04*

3.2 Област употребе индуктивних давача

Индуктивни давачи се користе у различитим апликацијама. Користе се при контроли, регулисању, аутоматизацији и надгледању производног процеса. Најчешће се примењују у индустрији пластичних маса, текстилној, дрво-прерађивачкој и ауто-индустрији и свуда где производни процес треба да је аутоматизован. Постоји и примена у енергетској индустрији где се могу користити при конструкцији генеришућих електромагнетних поља. Индуктивни давачи се нарочито користе за детектовање присутности електричног напона у уређајима и лошег уземљења.

4. Примери примене индуктивних давача у техници испитивања различитих елемената и система моторних возила

4.1 Индуктивни давач вертикалног убрзања осцилаторног тањира пулзатора за испитивање елемената и система моторних возила

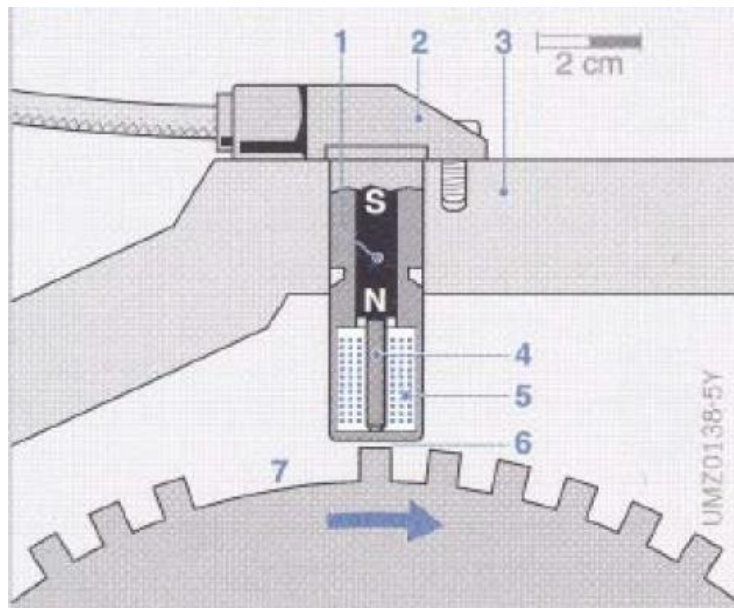
Лабораторија за моторна возила Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу поседује индуктивне даваче апсолутног убрзања НВМВ12/200. На слици 17 може се видети један овакав давач који се користи за испитивање побуде система еластичног ослањања опитне приколице од тањира механичког пулзатора.



Слика 17 Постављање давача убрзања на осцилаторни тањир пулзатора

4.2 Индуктивни давач брзине кретања возила

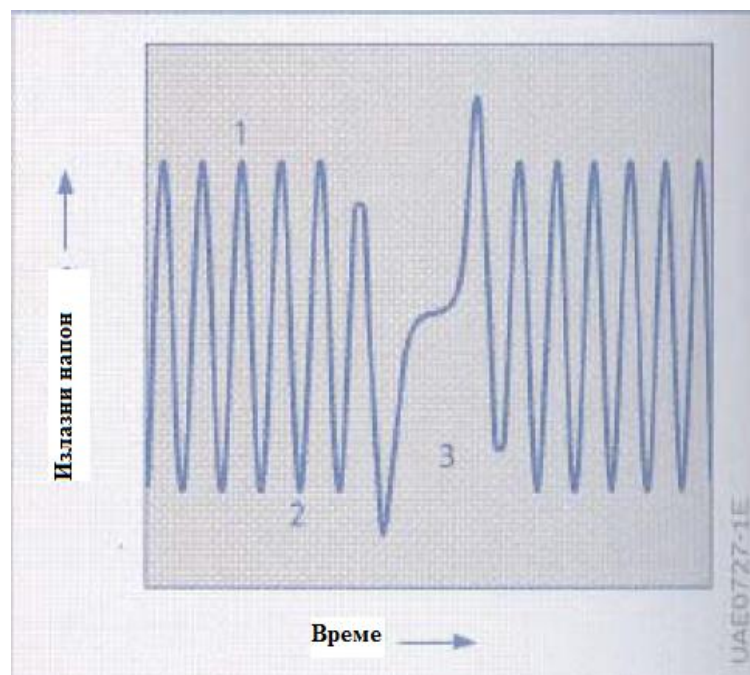
Давач је постављен насупрот феромагнетног назубљеног венца (слика 18, ознака 7) уз мали ваздушни процеп између њих. Садржи језгро од меког гвожђа (4), које је усађено у намотај (5). Језгро је прислоњено уз сталан магнет (1) тако да се магнетско поље концентрише кроз језгро према назубљеном венцу. Интензитет магнетног флукса кроз намотај зависи од положаја давача у односу на венац, тј. да ли је насупрот зуба или међузубља. Док је истицање магнетног флукса из магнета према венцу концентрисано када је давач насупрот зубу, а самим тим је и флукс кроз намотај повећан, у случају када је давач насупрот међузубљу флукс кроз намотај се смањује. Када венац ротира ове промене у магнетном флуксу индукују синусоидни напон на крајевима намотаја, који је пропорционалан промени флукса, а самим тим и брзини мотора (слика 19). Амплитуда наизменичног напона се знатно повећава са повећањем брзине назубљеног венца (од неколико mV до преко 100V)[5].



Слика 18 Индуктивни давач брзине кретања возила [5]

Ознаке на слици 18 су:

1. стални магнет,
2. кућиште давача,
3. кућиште радилице,
4. клин пола,
5. намотај,
6. ваздушни процеп,
7. назубљени венац са референтном тачком.



Слика 19 Излазни сигнал индуктивног давача[5]

Ознаке на слици 19 су:

1. зуб,
2. међузубље,
3. референтна тачка.

Број зуба назубљеног венца зависи од примене. Код ABS система, користи се 60-пулсни венац, стим да су два зуба изостављена (слика 18, ознака 7), па, према томе, венац има $60-2=58$ зуба. Положај зуба који недостају одговара предодређеној позицији радилице и служи као референтна тачка за контролну јединицу.

Облици зуба на венцу и клина на полу морају бити усклађени. Коло за одмеравање у контролној јединици претвара синусоидни напон, који карактеришу велике амплитудне промене, у дигитални сигнал тј. поворку правоуглих импулса која се прослеђују микроконтролеру на даљу обраду.

На слици 20 приказан је пример употребе давача брзине кретања на возилу FIAT PUNTO CLASSIC.



Слика 20 Пример уградње индуктивног давача брзине кретања на возилу FIAT PUNTO CLASSIC

Давач се може налазити на диференцијалу, телу трансмисионог система, глави брзинометра или на другој локацији. Проблеми у раду овог давача могу утицати на функцију контроле, као и осетљивост система на промене степена преноса у зависности од брзине кретања.

4.3 Индуктивни давач броја обртаја точкова

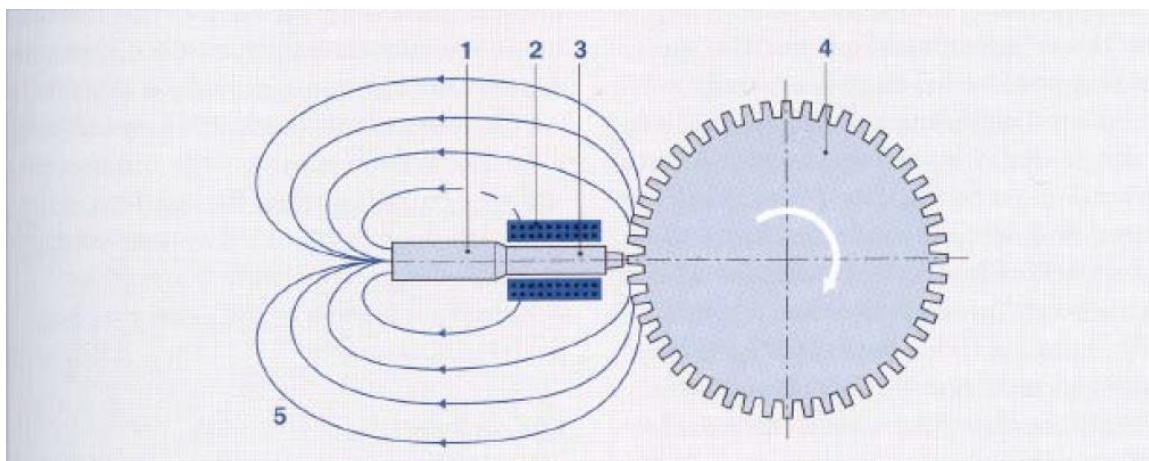
4.3.1 Примена

Давачи броја обртаја точкова користе се за мерење брзине ротације точкова на возилу (брзине точкова). Сигнали који представљају ту брзину преносе се водовима до контролних јединица ABS, TCS или ESP система који контролишу силу кочења посебно за сваки точак. Ово контролно коло са повратним спрегом спречава блокирање точкова или клизање точкова у циљу одржавања стабилности и управљивости возила.

Системи за навигацију такође користе брзину точкова за израчунавање пређене раздаљине.

4.3.2 Конструкција и принцип рада

Сигнали са давача броја обртаја точкова генеришу се преко челичног генератора импулса – назубљеног точка. Овај генератор импулса има исту угаону брзину као и точак и ротира поред осетљивог подручја на глави давача, без физичког контакта. Давач читава без контакта кроз ваздушни процеп распона до 2 mm (слика 21). Ваздушни простор осигурава активизацију сигнала без сметњи. Сметње могу изазвати осцилације које изазивају кочнице, вибрације, температура, влага, стање прикључног места на точку.



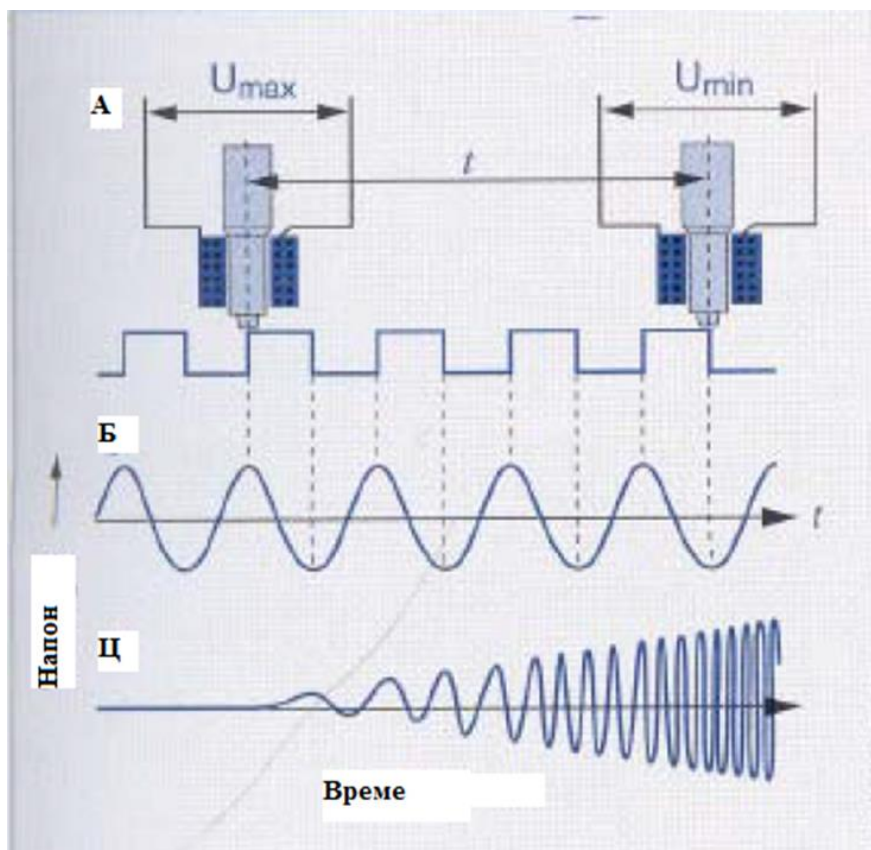
Слика 21 Индуктивни давач брзине точка [5]

4.3.3 Пасивни (индуктивни) давач брзине точка

Пасивни (индуктивни) давач се састоји од сталног магнета (слика 21, ознака 1) са језгром од меког гвожђа (3) повезаним са магнетом, при чему је језгро усађено у намотај (2) од неколико хиљада завојака. Оваква конструкција генерише стално магнетно поље.

Језгро је постављено непосредно изнад назубљеног венца (4) причвршћеног за главчину точка. Како се венац окреће, стално променљив распоред зуба и међузубља индукује осцилације сталног магнетног поља. То мења магнетни флуks кроз језгро и самим тим и кроз намотај. Те промене флуksа индукују наизменични напон који се прати на крајевима намотаја.

Фреквенција и амплитуда овог наизменичног напона пропорционалне су брзини точка (слика 22), а када се точак не креће, индуктивни напон једнак је нули.



Слика 22 Приказ напона на давачу броја обртаја точка [5]

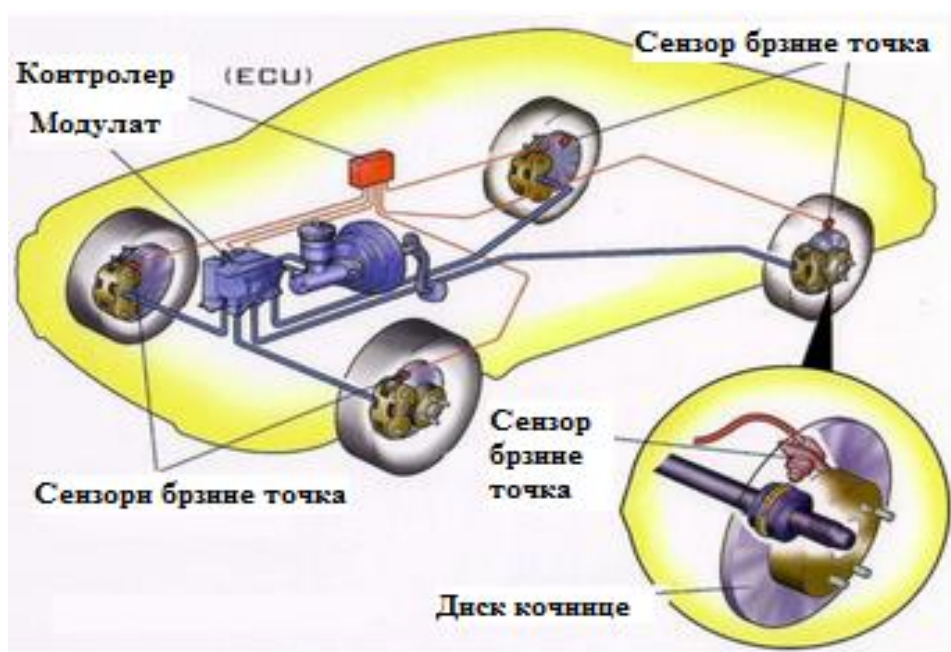
Облик зуба, ваздушни процеп, стопа раста напона и улазна осетљивост контролне јединице одређују најмању мерљиву брзину возила, а за ABS, максималну одзивну осетљивост и брзину окидања.

Најчешћи су типови ових давача са длетастим језгром (слика 23.а), које се зове и плоснато језгро, и ромбоидним језгром (слика 23.б). Оба типа језгра приликом уградње захтевају прецизно поравнавање са назубљеним венцем.



Слика 23 Примери индуктивних давача броја обртаја точка

На слици 24 су приказана места постављања индуктивних давача броја обртаја точкова на возилу.



Слика 24 Места постављања индуктивних давача броја обртаја точкова на возилу

4.4 Давач положаја коленастог вратила (радилице)

Овај давач се обично налази покрај ременице, радилице или на самом замајцу мотора. Примећује се да ременица или замајац имају изрезбарене жлебове и да су ти жлебови свуда осим на једном месту где је жлеб мало дужи. Управо ту где је тај дужи жлеб, то је сигнал за горњу мртву тачку. Када ременица пролази поред давача, давач сигнализира најдужи жлеб, односно горњу мртву тачку, па даје информацију главној електроници. Електроника на основу тих података, даје импулс бобинама, електронским дизнама и сл. Уколико је неисправан давач, аутомобил неће упалити или ће се гасити и слично.

Овај давач читава тренутни положај коленастог вратила, а тиме ECU добија информацију којом контролише време паљења, као и функционисање убризгавања горива. Овај сигнал такође "говори" ECU којом брзином мотор ради (бројобртаја у минути), тако да се време паљења убрза или успори, према употреби. Уколико сигнал са овог сензора не постоји, мотор неће функционисати. Овај тип сензора користи промене у магнетном пољу које се дешавају сваки пут кад се током ротације вратила региструје „зарез“ на вратилу.

Приказ сензора положаја коленастог вратила дат је на слици 25.

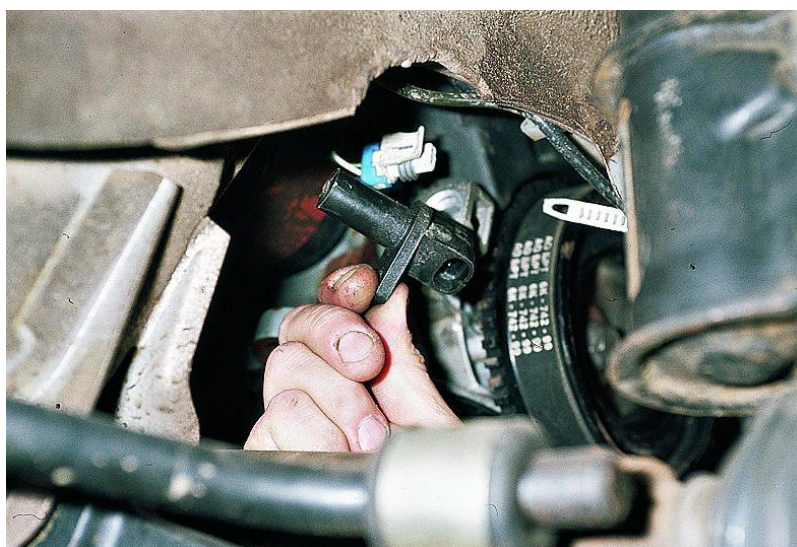


Слика 25 Давач положаја радилице

4.5 Давач положаја брегастог вратила

Сензор се налази или уз ременицу брегастог вратила и има исти принцип рада као и сензор радилице, или се налази вертикално у односу на брегасту осовину, па има исту функцију праћења положаја осовине. Служи за корекцију паљења при екстремним ситуацијама. Прикупљене податке шаље електроници аутомобила, која их обрађује и подешава рад аутомобила захтевима возача.

Пример уградње давача положаја брегастог вратила дат је на слици 26.



Слика 26 Давач положаја брегастог вратила

На слици 27 приказани су примери давача положаја брегастог вратила различитих произвођача.



Слика 27 Различити типови давача положаја брегастог вратила

5. Методологија мерења вертикалних убрзања осцилаторних тањира механичког пулзатора уз помоћ индуктивних давача

5.1 Предмет мерења

У лабораторији за моторна возила извршено је мерење вертикалних убрзања осцилаторних тањира механичког пулзатора уз помоћ индуктивног давача НВМ В12/200. Тако добијене информације говоре о побуди којој су изложени елементи и системи возила постављени на механичком пулзатору и изложени осцилаторној побуди са пулзатора.

5.2 Мерне величине и начин њиховог мерења

Мерна величина коју је потребно измерити је вертикално убрзање осцилаторног тањира. Ово убрзање је мерено уз помоћ индуктивног давача НВМ В12/200.

5.2.1 Индуктивни давач убрзања НВМ В12/200 [6]

Давач апсолутног убрзања типа НВМВ12 омогућава мерење константних убрзања, као и апсолутних и ударних убрзања. Одликује се малим димензијама и занемарљиво малом тежином, због чега има предност за монтирање на малим објектима мерења.

Давач НВМ В12/200 има опсег мерења убрзања до 200 m/s^2 и подесан је због добре стабилности нулте тачке, посебно при мерењу константних и споро променљивих убрзања. Најмање мерљиво убрзање износи $0,02 \text{ m/s}^2$. Приказ давача НВМ В12/200 дат је на слици 28.



Слика 28 Давач убрзања НВМ В12/200 [6]

Мерни систем давача налази се у цилиндричном челичном кућишту. У кућишту се налази маса, ослоњена на две опруге мембранског типа. Давач се уз помоћ рукавца са завојницом чврстонавија на објекат мерења. Кућиште давача преноси мерно убрзање преко опруге на масу. Тако настало релативно померање између масе и кућишта је мера апсолутног убрзања.

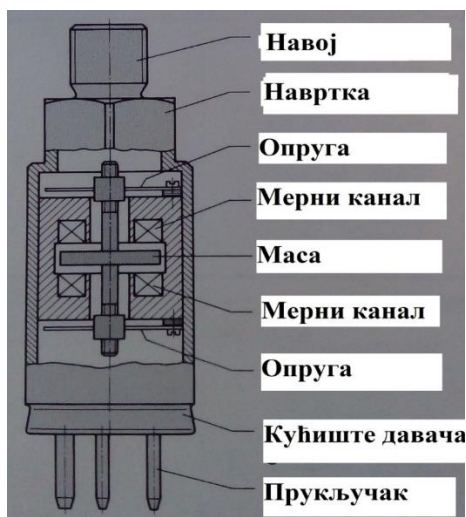
Маса је раздвојена као котва и изазива својим померањем у намотајима сопствену промену индуктивности. Намотаји чине индуктивни полу-мост. Равнотежа моста се ремети услед померања моста, и на тај начин добија се мерни сигнал који је пропорционалан релативном кретању масе и убрзања.

За постављање давача за мерни објекат предвиђени су шестоугаони завртњи М6 са отвором кључа 10 mm и са навојем дугим 6,5 mm. Навој је пригушен и садржи канал

за пуњење уља за пригушење. Са супротне стране навоја налазе се четири извода утикача HS31P за електрични прикључак.

Тежиште давача лежи у околини средине цилиндричног кућишта, а правац мерења је у правцу осе кућишта.

Пресек давача са основним елементима дата је на слици 29.



Слика 29 Основни елементи давача НВМ В12 / 200 [6]

Давач се завија уз помоћ навоја на мерни објекат. Просторни положај монтаже је произвољан и прилагођен примени. Момент затезања сме да се уведе само преко шестоугаоног завртња и не сме бити већи од 3,5 Nm. Уколико давач треба да се фиксира магнетним држачима, не сме се то радити због могућности утицаја поремећаја [6].

Електрично повезивање се може извршити уз помоћ везне кутије или директног лемљења прикључних жица. При прикључивању за прикључну кутију кућиште је заштићено.

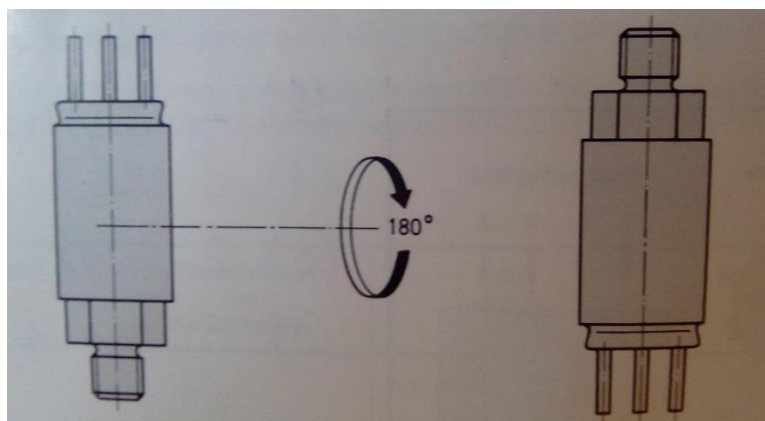
Да би резултат мерења могао да се одржава без сметњи треба користити НВМ каблове за повезивање. За одређене случајеве употребе, користе се флексибилне прикључне лице које се директно леме за прикључке утикача. Како не би дошло до прегоривања унутрашњих лемљених веза користе се лемови са малом температуром топљења.

За калибрацију мерног ланца предузимају се неопходна подешавања мерног појачивача према одговарајућем упутству за употребу.

Давач НВМ В12/200 се може калибрисати на врло једноставан начин - заокретањем око вертикалне осе за 180°. При окретању давача за 180°, на масу делује убрзање 2g, затим треба подесити одговарајућу вредност на појачивачу. На основу тога мерни ланац је калибрисан.

За врло тачна мерења, давач треба калибрисати према реду очекиване мерне величине. Уколико мерења трају дуже време, препоручује се редовно накнадно калибрисање.

Начин калибрације давача НВМВ12/200 приказан је на слици 30.



Слика 30 Начин калибрације давача НВМ В12/200 [6]

Код индуктивних давача, утицај каблова зависи од врсте употребљених давача. При употреби НВМ каблова јављају се промене мерне осетљивости код дужине каблова преко 100 m. Утицај дугог кабла се анулира, када је већ при калибрацији узета дужина у обзир.

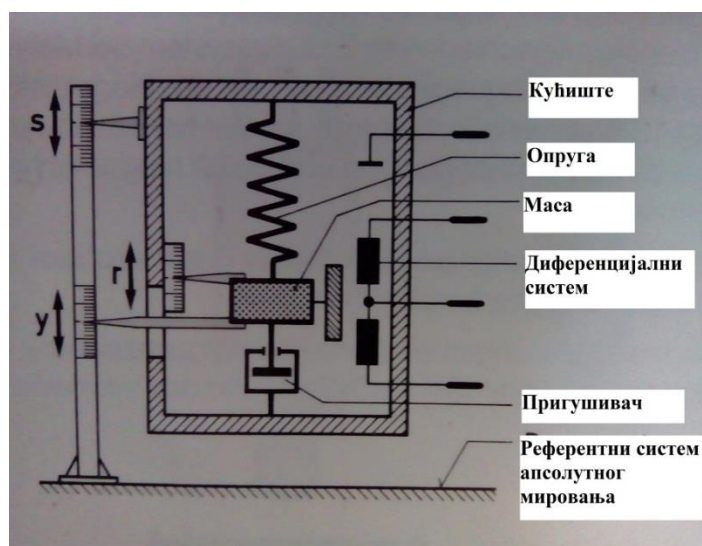
Иако је пренос основне фреквенције код индуктивних давача значајно неосетљив на електричне поремећаје, поремећајни утицаји могу изобличити резултате мерења. Нежељени утицаји могу потицати од водова високог напона, контакта и електромотора постављених паралелно мерним водовима или од различитих потенцијала у систему уземљења мерног ланца.

Под неповољним условима се у магнетном пољу јачине 2mT, одступање сигнала креће око 10% у односу на нормалну величину. Утицаји магнетних поља се требају узети у обзир и евентуално одстранити коришћењем антимагнетног кућишта давача.

Важне претпоставке за беспрекорна мерења су заштита мерног моста од високе фреквенције и избегавање кола повратне струје током вишеструког уземљења.

Принцип мерења убрзања заснива се на сеизмичком систему са уздужним осциловањем и релативним пригушењем између масе и кућишта. Да би се објаснили односи, мерни систем је посматран у узајамној зависности са замишљеним референтним системом.

Убрзање кућишта ($a = d^2s/dt^2$) преноси се посматраном опругом на масу и онда се покреће. Маса прелази апсолутно убрзање, u (измерено у односу на замишљени референтни систем), и релативно растојање, r (измерено према кућишту), слика 31.



Слика 31 Мерни систем давача HBM B12/200 [6]

Релативно померање масе може се израчунати преко једначине:

$$r = y - s.$$

Однос између убрзања и измереног релативног померања може се математички извести преко равнотеже сила осцилаторних система ($\sum F=0$).

Ако на кућиште делује нека спољашња сила, систем се може описати нехомогеном линеарном диференцијалном једначином другог реда:

$$m * \frac{d^2 r}{dt^2} + k * \frac{dr}{dt} + c * r = -m \frac{d^2 s}{dt^2} = -m * a ,$$

где су:

- $m * \frac{d^2 r}{dt^2}$ - сила инерције, N,
m – маса, kg,
- $k * \frac{dr}{dt}$ - сила пригушења, N,
k - коефицијент пригушења, $\frac{Ns}{cm}$
- $c * r$ - сила опруге, N,
c - коефицијент еластичности, $\frac{N}{cm}$
- $-m \frac{d^2 s}{dt^2} = -m * a$ - побудна сила, N.

Трансформисањем претходне једначине коришћењем једначине сопствене фреквенције $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$ и једначине фактора пригушења $D = \frac{k}{2 * m * \omega_0}$ као и дељењем претходне једначине са m добија се:

$$\frac{d^2 r}{dt^2} + 2D\omega_0 \frac{dr}{dt} + \omega_0^2 r = -\frac{d^2 s}{dt^2} = -a$$

Из претходне једначине добија се $\omega_0^2 * r = -a$, што показује да је релативно померање пропорционално убрзању.

Да би се мерење у потпуности извршило, морају се израчунати:

- апсолутно-фреквентне зависности

$$\frac{\hat{r}}{\hat{a}} = \frac{1}{\omega_0^2} * \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + \left(2D \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}},$$

- зависност пригушења од температуре,
- кашњење мерног сигнала,
- фазно померање

$$\varphi = \arctan \frac{2D \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2},$$

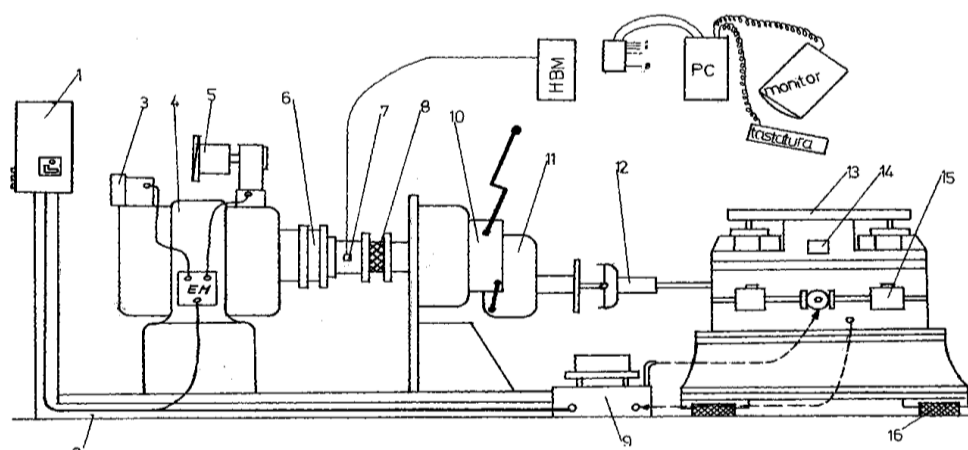
- време кашњења

$$\tau = \frac{\varphi}{360 * \frac{\omega}{\omega_0}}.$$

5.3 Опис опитне инсталације

5.3.1 Механички пулзатор

Приликом експеримента, коришћен је механички пулзатор чија је шема дата на слици 32.



Слика 32 Саставни елементи механичког пулзатора

На слици 32 су приказани и основни делови овог пулзатора, а то су:

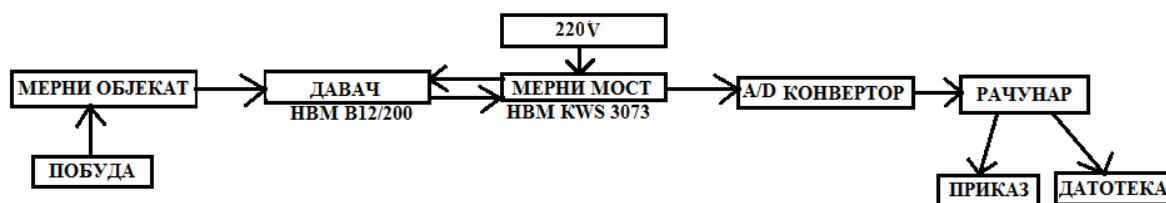
1. командна табла,
2. постоље – носач конструкције,
3. варијатор броја обртаја,
4. електромотор,
5. центрифугални варијатор,
6. центрифугална хидраулична спојница,
7. давач броја обртаја електромотора,
8. електрична спојница,
9. хидраулична пумпа,
10. механички преносних,
11. редуктор,
12. кардански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

Основне карактеристике механичког пулзатора који је коришћен у експерименту су:

- | | |
|---|------------------------------|
| – број обртаја електромотора: | 685 – 2000 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: | ± 25mm |
| – максимално оптерећење по целој платформи: | 500kg. |

5.3.2 Блок-шема опитне инсталације

На слици 33 приказана је блок-шема опитне инсталације коришћене при експерименталним истраживањима у Лабораторији за моторна возила.



Слика 33 Блок-шема опитне инсталације

5.4 Режим рада

Приликом извођења експеримента, погонски електромотор се подешава на број обртаја од 1000 o/min. Мерења се изводе током 15 s.

5.5 Поступак рада

Пре постављања давача на мерно место, врши се калибрација давача НВМ В12/200. Затим се давач поставља на мерно место – осцилаторни тањир пулзатора. Давач се повезује на мерни мост НВМ КWS 3073, који се прикључује на напајање наизменичном струјом напона 220 V. Излаз сигнала давача са мерног моста се преко разводне кутије везује на А/Д конвертор. Прикупљени подаци се шаљу на рачунар. Подаци се могу сачувати у датотекама или се могу директно приказати на екрану рачунара и накнадно обрадити.

5.6 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.

6. Приказ и анализа резултата експерименталног мерења

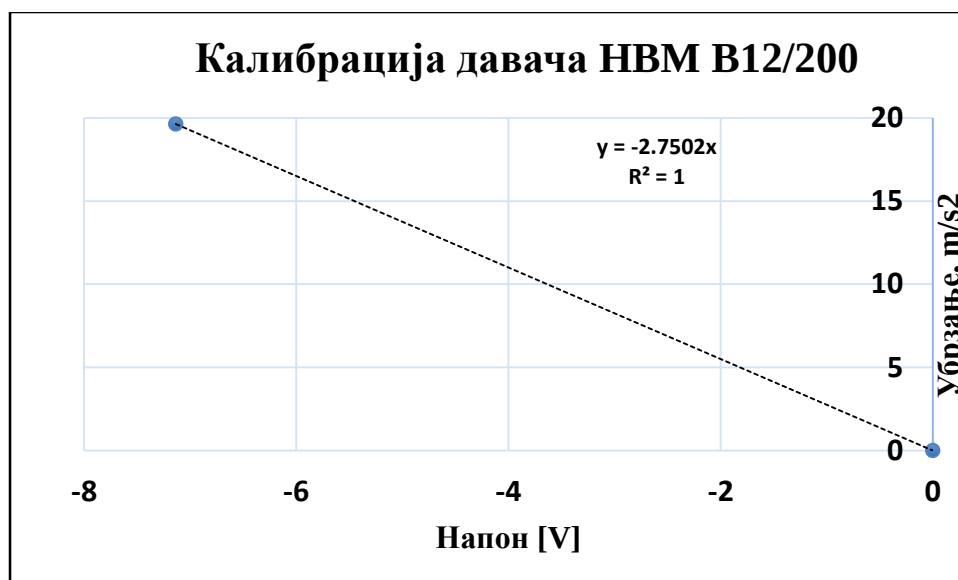
6.1 Калибрација давача убрзања НВМ В12/200

У табели 1 су приказани резултати калибрације индуктивног давача вертикалног убрзања НВМВ12/200, који се поставља на осцилаторни тањир механичког пулзатора.

Табела 1 Вредности калибрациједавача НВМВ12/200

Убрзање, m/s^2	Напон, V
0	0
19,62	-7,134

Дијаграм калибрације давача НВМВ12/200 дат је на слици 34.



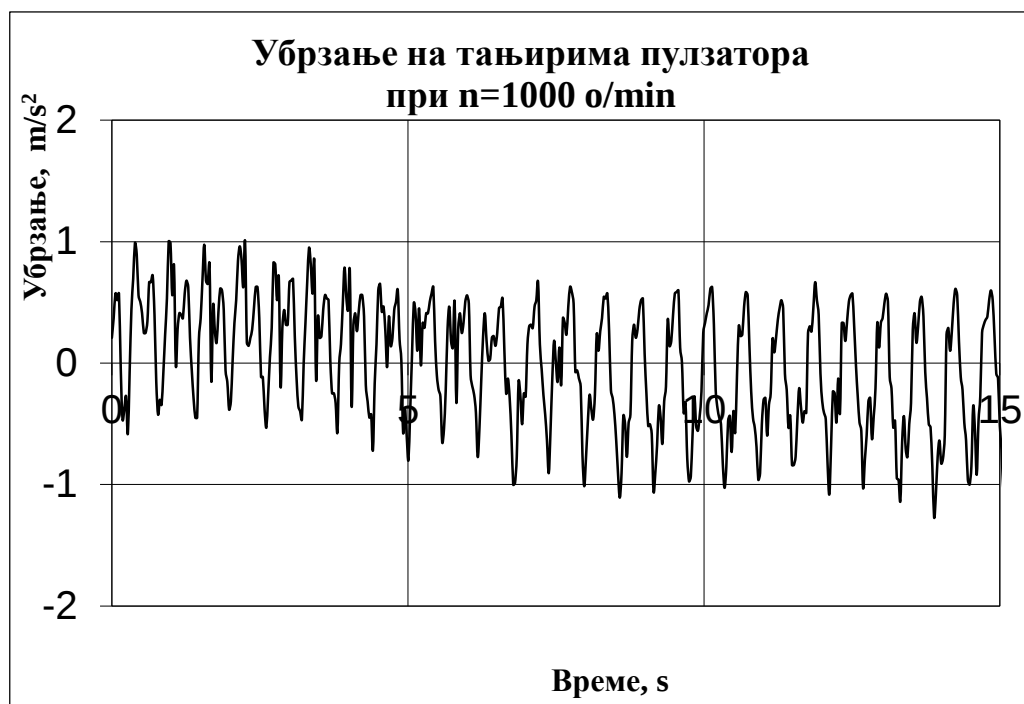
Слика 34 Дијаграм калибрације давача НВМВ12/200

Уз помоћ методе најмањих квадрата, добијена је следећа зависност између измереног напона и вертикалног убрзања (крива калибрације):

$$\text{Убрзање} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = -2,75 * \text{Напон [V]}.$$

6.2 Приказ резултата мерења

Мерење вертикалног убрзања осцилаторног тањира механичког пулзатора је вршено у периоду од 15 s, при броју обртаја погонског електромотора пулзатора од 1000 o/min. Добијене вредности убрзања могу се видети на дијаграму који је приказан на слици 35.



Слика 35 Дијаграм убрзања на тањирима пулзатора

Дијаграм вертикалног убрзања осцилаторног тањира механичког пулзатора показује да у инсталацији пулзатора постоје неки непожељни „удари“ које треба елиминисати како би се у систем који се испитује на пулзатору унеле чисто хармонијске побуде. То се може постићи редовним одржавањем пулзатора.

7. Закључак

Индуктивни давачи спадају у ред пасивних давача чији се рад заснива на промени отпора електромагнетног кола или на електромагнетној индукцији. Ови давачи имају више предности у поређењу са механичким давачима и неопходни су у индустријској примени.

Основни принцип рада индуктивних давача заснива се на чињеници да механичка мерна величина изазива промену индуктивности завојнице, L , док се променом индуктивности мења и укупан отпор таквог елемента.

Најчешће врсте индуктивних давача који су у примени су:

- индуктивни давачи са клизним контактом,
- индуктивни давачи са померљивим језгром,
- индуктивни давачи са променом међуиндуктивности и
- индуктивни давачи са променом магнетног пермеабилитета.

Област употребе индуктивних давача је широка – користе се у контроли, регулисању, аутоматизацији и надгледању производних процеса. Најчешће се примењују у индустрији пластичних маса, текстилној, дрво-прерађивачкој и ауто-индустрији.

Индуктивни давачи су нашли широку примену и на моторним возилима (као део система возила) и у техници испитивања моторних возила. Неки од примера примене индуктивних давача на моторним возилима су:

- мерење апсолутних убрзања (пример примене на осцилаторним тањирима механичког пулзатора из Лабораторије за моторна возила),
- мерење брзине кретања возила,
- мерење броја обртаја точкова возила,
- детектовање положаја коленастог вратила мотора и
- детектовање положаја брегастог вратила мотора.

У оквиру завршног рада, у Лабораторији за моторна возила Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, извршено је мерење вертикалних убрзања осцилаторних тањира механичког пулзатора. Механички пулзатор је намењен испитивањима елемената и система возила применом хармонијске побуде. Зато је мерење побудног убрзања од велике важности за анализу резултата мерења.

За мерење вертикалног убрзања употребљен је давач HBMB12/200 који поседује Лабораторија за моторна возила и чије карактеристике одговарају потребама мерења на механичком пулзатору. Овај давач се калибрише на једноставан начина и даје линеарну зависност излазног напона и мереног убрзања, што је погодно за практичну примену.

Испитивања су вршена само при једном режиму побуде, када је броја обртаја погонског електромотора био 1000 o/min. Циљ мерења је било одређивање вредности

вертикалних убрзања која при испитивању делују на улазу у систем возила које се испитује на пулзатору. Пошто погонски електромотор механичког пулзатора дозвољава ручно подешавања броја обртаја, на идентичан начин су могле да буду снимљене побуде на осцилаторним тањирима за више улазних бројева обртаја погонског електромотора.

Добијени резултати мерења вертикалног убрзања осцилаторног тањира механичког пулзатора показују да се ради о, у основи, хармонијској побуди, која због услова одржавања пулзатора показује повремене „ударе“ које би требало елиминисати из механичког система пулзатора. Зато се препоручује да се одради сервисирање механичког пулзатора и обезбеђење нормалних услова рада, подмазивања и хлађења у циљу смањења утицаја стања пулзатора на резултате мерења.

Литература

1. Милорадовић, Д., Радоњић, Р., Лукић, Ј.: „Испитивање моторних возила и мотора“, Скрипта у електронском облику, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2013.
2. Тодоровић, Ј.: „Испитивање моторних возила“; Машински факултет Београд, 1985.
3. Шилић, Ђ.: „Испитивање моторних возила“, Велеучилиште Велика Горица, Велика Горица, 2010.
4. Поповић, М.: „Сензори и мерења“, Завод за уџбенике и наставна средства, Српско Сарајево, 2004.
5. Матијевић, В.: „Сензори и актуатори на возилима“, Висока школа електротехнике и рачунарства струковних студија, Београд, 2010. (доступно на www.viser.edu.rs/download/uploads/6645.pdf)
6. Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM): "Acceleration transducer B12-Mounting instructions", HBM, 2000.