

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Испитивање моторних возила и мотора

Број индекса: 23/2011

Кристина М. Мирковић
Примена отпорних давача у испитивању
моторних возила и мотора
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Доц. др Данијела Милорадовић -ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- изложи основне физичке принципе на којима је заснован рад отпорних давача,
- прикаже класификацију и област употребе отпорних давача,
- илуструје примену отпорних давача у техници испитивања различитих елемената и система моторних возила и мотора.

Препоручена литература:

- [1] Тодоровић, Ј.: „Испитивање моторних возила“; Машински факултет Београд, 1979.
- [2] Поповић, М.: „Сензори и мерења“, Завод за уџбенике и наставна средства, Српско Сарајево, 2004.
- [3] Симић, Д.: „Теорија и примена мерних трака“, Машински факултет Крагујевац, 1972.

Крагујевац, август 2014. год.

Ментор:
Доц. др Данијела Милорадовић

РЕЗИМЕ

У оквиру завршног рада објашњени су физички принципи на којима се заснива рад отпорних давача. Приказана је класификација отпорних давача и описани су начини њихове градње. Примена отпорних давача у техници испитивања моторних возила и мотора је илустрована преко већег броја конкретних решења примењених на возилу.

Кључне речи: давачи, отпорни давачи, испитивање возила

ABSTRACT

Physical principles on which operation of resistive sensors is based are explained in the final paper. Classification of resistive sensors is given and ways of their building is described. Application of resistive sensors in testing of motor vehicles and motors is illustrated by a large number of real solutions applied on vehicles.

Keywords: sensors, resistive sensors, vehicle testing

САДРЖАЈ

1. Увод.....	1
2. Принцип рада отпорних давача.....	3
3. Класификација и област примене отпорних давача.....	6
3.1. Отпорни давачи са клизачем (потенциометри)	6
3.1.1. Принцип рада потенциометра	7
3.1.2. Потенциометарска шема (U метод)	8
3.2. Отпорни давачи са еластичним елементом	8
3.2.1. Двослојни сензори притиска.....	9
3.3. Мерне траке	10
3.3.1. Принцип рада мерних трака	10
3.3.2. Врсте мерних трака	11
3.3.3. Начин постављања мерних трака на мерно место.....	12
3.3.4. Витстонов мост	14
3.3.5. Полупроводничке мерне траке.....	15
3.3.6. Практична примена мерних трака	15
3.4 Отпорни давачи температуре	16
3.4.1. Термoeлементи (термопарови).....	16
3.4.2. Метални отпорнички давачи температуре.....	18
3.4.3. Полупроводнички отпорни давачи температуре - термистори.....	20
4.Примери практичне примене отпорних давача у испитивању моторних возила и мотора.....	23
4.1. Примери примене мерних трака у испитивању моторних возила и мотора	23
4.2. Примери примене термопарова у испитивању моторних возила и мотора.....	27
5.Закључак.....	29

1. УВОД

Научна дисциплина испитивања моторних возила и мотора је релативно млада. Појавила се са појавом првог аутомобила, 1886. године. Захтеви су се односили на задатке испитивања возила, тј. вршила су се испитивања возила на путу, у експлоатационим условима. Савремени захтеви за испитивање возила подразумевају се са аспекта безбедности возила, проблематике економичности погона возила и утицаја возила на окружење.

Испитивања возила су се у лабораторији усавршавала. Појавила се потреба за увођење симулатора за „имитирање“ услова експлоатације. У области мерне технике, електронике и слично, проналасци су помогли за напредак испитивања возила, нарочито за:

- развој техника употребе мерних трака,
- развој теорије случајних процеса и
- примена рачунарске технике.

Уз помоћ разних врста електричних инструмената и инсталација, најчешће се спроводи мерење механичких и других мерних величина у испитивању моторних возила. Мерења се врше на принципу претварања мерне величине у електричну величину. Ово претварање се остварује у давачу мерне величине.

Давач прихвата мерну величину и детектује њене промене, које после претвара у неку електричну величину и тако добијене сигнале даље шаље у мерну инсталацију. Електричне мерне инсталације, поред давача, морају да садрже и друге компоненте као што су: уређаји за пренос сигнала, његово прилагођавање мерењу, уређаји за приказивање резултата мерења. Допунски и помоћни уређаји могу да се изводе на различите начине, а у инсталацијама се користе и више уређаја. Од допунских уређаја се углавном користе: појачала, електрични филтери, рачунске јединице и слично.

Давачи се примењују у свим индустријским производима и системима. Постоје многе области у којима је увођење давача драматично повећало перформансе инструмената, машина и производа. Европско тржиште нуди преко 100000 различитих врста давача. Ова слика не показује само велико коришћење давача, него и чињеницу да се давачи користе за тачно одређену примену.

Давачи су основни елементи електричних мерних инсталација. Према основном мерном принципу, могу да се поделе на две основне групе:

- активни и
- пасивни давачи.

Пасивни давачи не производе електро моторну силу, већ им је потребно обезбедити електрично напајање. Промене улазне мерне величине изазивају одговарајуће промене електричне величине на излазу давача. Пасивни давачи не утичу на енергетско стање мерног објекта. Напајање давача може да се врши струјом произвољне снаге и тако се олакшава процес мерења. Мерна инсталација пасивних давача је сложенија. У инсталацији мора да постоји посебан енергетски извор који ће давач напајати одређеним познатим напонем, тј. јачине електричне струје. За мерење

електричне величине, треба да постоји посебан уређај тзв. мерни мост. После тога електрична величина може да се води на уређај за приказивање резултата.

Активни давачи се одликују тиме што сами генеришу електромоторну силу. Мерење уз помоћ ових давача се своди на мерење напона или јачине струје која се генерише. Активни давачи су једноставнији од пасивних, јер за њих није потребно да се обезбеђује посебан енергетски извор, а мерење напона или јачине струје се може остварити одговарајућим мерним уређајем који директно показује резултат. Принцип рада им је такав да енергију узимају са самог мерног објекта. Тиме може да се утиче и тачност мерења, због тога се тежи да што мање енергетски утичу на мерни објекат.

Отпорни давачи спадају у групу пасивних давача. Постоје више врста отпорних давача као што су: отпорни давачи са еластичним елементом, отпорни давачи са клизачем, мерне траке, отпорни давачи температуре. Користе се за мерење већег броја механичких и других величина. Отпорни давачи се често користе у техници испитивања моторних возила и мотора.

2. ПРИНЦИП РАДА ОТПОРНИХ ДАВАЧА

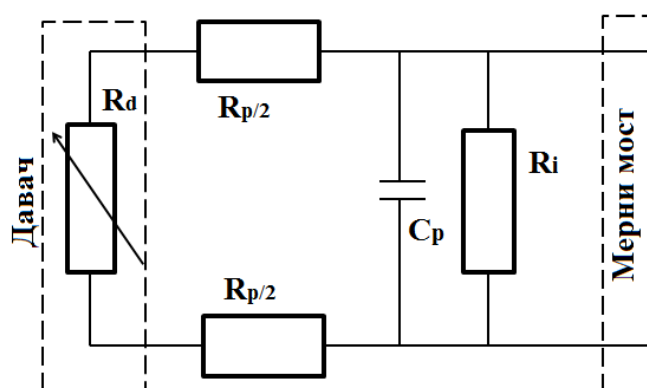
Отпорни давачи се врло често користе за мерење већег броја механичких и других величина. Промена електричног отпора у зависности од деловања механичке силе, температуре или зрачења одавно се примењују у техници сензора. Код полупроводника је уочено да на површини долази до размене електрона са атомима и молекулима из околине. Када се такав отпорник прекрије слојем биолошког материјала који омогућава претварање концентracије течног садржаја у концентracију гаса, добија се биосензор. Агрегатно стање отпорника може бити: чврсто, течно или гасовито.

Отпорни давачи од чврстих материја примењују се за мерење физичких величина које су у вези са деловањем механичке силе или температуре. Праве се од метала или полупроводника.

Течни отпорни давачи су раствори електролита, па се често називају електролитички давачи. Промена отпора у зависности од количине и врсте раствореног материјала представља основу за електрохемијско мерење концентracије тог материјала у раствору.

Гасни отпорни давачи су као стаклени балони (цеви) испуњени разређеним гасом. Раде на основу особине проводљивих гасова да им отпор зависи од притиска и јачине светлости, док зависност од температуре нема практични значај. Принцип рада гасних отпорних давача примењује се у градњи давача ниског апсолутног притиска, тј. високог вакуума.

Принцип рада отпорних давача је заснован на физичкој појави да се при променама одређених механичких величина мења унутрашњи отпор проводника. Давач са унутрашњим отпором R_d везује се за мерни мост одговарајућим проводником, укупног отпора R_p и отпора изолације R_i . За мерење промене отпора R_d узима се у обзир капацитивност између проводника, C_p , који се при мерењу, као и отпори R_p и R_i , мора уравнотежити са мерним мостом (слика 1).

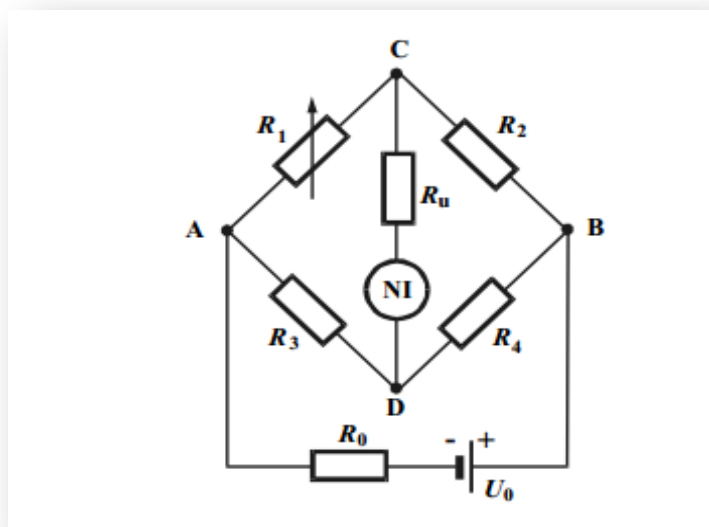


Слика 1. Шема отпорног давача и његових веза: R_d - унутрашњи отпор, R_p - укупни отпор, R_i - отпор изолације, C_p - капацитивност између отпорника [1,2]

Отпорни давач може да се напаја једносмерном или наизменичном струјом. При напајању једносмерном струјом, отпорни давачи, да би били осетљиви морају да задовоље услов $R_p \ll R_d \ll R_i$, док при напајању наизменичном струјом, отпорни давачи морају да задовоље услов: $R_p \ll R_d \ll \frac{1}{\omega C_p}$, где је ω - носећа фреквенција струје напајања.

Отпор проводника, R_p , обично је око $0,1 \Omega$ по метру дужине, отпор изолације R_i - око $10^{10} \Omega$, капацитивност C_p - око 100 pF , носећа учестаност, ω , 5 или 500 KHz , па се добија да је отпор давача, R_d , од 100Ω до 100000Ω .

Принцип рада пасивних мерних мостова има значајно место у техници сензора, тј. код мерења отпора. Мостови се, у начелу, деле према извору напајања на истосмерне и наизменичне. Најпознатији је Витстонов мост, који је приказан на слици 2. На слици се налазе четири гране, у којима су отпори и извори напајања отпорни давач, R_1 , и отпорници моста, R_2 , R_3 и R_4 , који се доводе на једну дијагоналу моста АВ, а прикључују на другу дијагоналу моста CD, преко индикационог инструмента тзв. нул-индикатора. Напон извора за напајање моста, U_0 , одређује се према снази отпорника, односно према максималној дозвољеној струји, $I_{\max}$, која пролази кроз отпорнике у границама ВСА и ВДА. Обично су сви отпорници у мосту исте снаге.

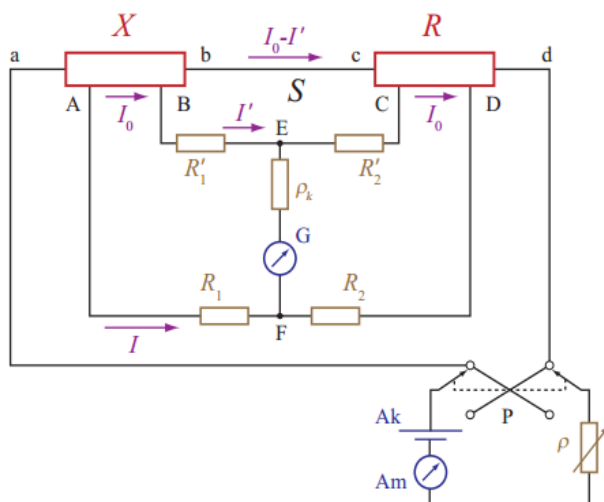


Слика 2. Витстонов мост са отпорним давачем: R_1 - отпорни давач, R_2 , R_3 , R_4 - отпорници моста, R_u - унутрашњи отпор, R_0 - унутрашњи отпор напонског извора, U_0 - напон извора, NI- нул-индикатор [3]

Осетљивост на отпорном давачу, R_1 , би требало да буде што већа и да је константна на подручју промене отпорног давача. Максимална осетљивост, S_U , постиже се када је: $R_1 = R_2$ и $R_3 = R_4$. При таквом односу, осетљивост се мења због промене отпора сензора, оптерећења и напона напајања, а излаз је линеаран, само за мале вредности ΔR_1 .

Нелинеарност моста израчунава се као одступање од реалне статичке карактеристике $U=f(\Delta R/R)$ од идеалног правца. Правац се дефинише или као тангента на статичку карактеристику у координатном почетку или као правац који пролази кроз почетну и крајњу тачку. Прорачун нелинеарности знатно је сложенији када је отпорни давач нелинеаран.

Стандардни индустријски мерни мостови који се примењују за детекцију промене електричног отпора имају тачност до 0,5%. Мерење релативно малих отпора прати значајна грешка зато што су такви отпори истог реда величине као и отпори прикључених водова и прелазних контаката. Да би се смањили ови ефекти и повећала тачност до 0,05%, примењује се сложенији, Томсонов (Келвинов) мост, тзв. двоструки Витстонов мост, слика 3.



Слика 3. Томсонов мост: X - непознати отпор, R - познати отпор, A, B, C, D - напонски контакти, S - спојница, E, F - потенцијали, A_k - акумулатор, ρ - реостат, A_m - амперметар, P - преклопник [8]

Електрични отпор свих отпорника зависи од температуре. Да би се смањила температура, примењују се конструкције Витстоновог моста. Састоји се од моста са два идентична отпорна давача у суседним гранама и моста са идентичним отпорним давачима у супротним гранама, где се у све четири гране налази отпорни давач. Томсонов мост се користи за мерење малих отпора (од око 0.1Ω). Прелазни отпори који се могу појавити на прикључцима у Витстоновом мосту постају неприкладни. Износ ових прелазних отпора зависи од разних геометријских и физичких параметара контактеног споја. Ови прелазни отпори иако су веома мали, доводе до великих грешака у мосту.

Отпорни давачи од чврстих материја примењују се за мерење физичких величина које су у вези са деловањем механичке силе или температуре. Пправе се од метала или полупроводника. Отпор давача од чврстих материјала се рачуна на основу познате формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2.1)$$

где је: R отпор на номиналној температури, ρ специфични отпор, l дужина отпорника и S попречни пресек отпорника. Деловање механичке силе одражава се на отпорни давач од метала. Осетљивост на промену дужине l је константна.

3. КЛАСИФИКАЦИЈА И ОБЛАСТ ПРИМЕНЕ ОТПОРНИХ ДАВАЧА

Отпорни давачи спадају у групу пасивних давача. Принцип рада им је заснован на физичкој појави да се при промени одређених механичких величина мења унутрашњи отпор проводника и то у одређеној сразмери са мерном величином. Најважније групе ових давача су:

- отпорни давачи са клизачем,
- отпорни давачи са еластичним елементом и
- мерне траке.

3.1. Отпорни давачи са клизачем (потенциометри)

Отпорни давачи за мерење дужине (потенциометарски давачи) могу се поделити у неколико група. Према облику путање којим се клизни контакт креће, могу бити:

- линеарни,
- кружни,
- спирални или
- посебни.

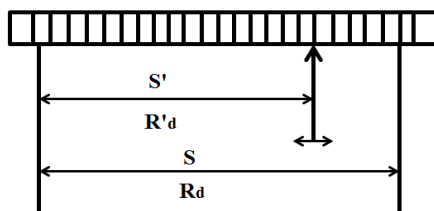
Отпорни давачи се према материјалу од којих су израђени могу поделити на:

- металне и
- неметалне.

Метална жица може бити направљена од мангана, никл-хрома или платине. Њен пречник одређује осетљивост давача. Неметални отпорни давач се реализује коришћењем проводљивих пластичних материјала. Главна предност оваквих отпора је дуг животни век ($5 \cdot 10^7$ циклуса рада), а друге предности су: њихова мања осетљивост на вибрације и много боља резолуција у односу на жице потенциометра.

Код ових давача се промена отпора изазива променом дужине проводника, S , тј. отпора давача, R_d . Ови давачи су погодни за мерење линеарних и угаоних померања. На слици 4. је приказан давач за мерење линеарног померања. Промена отпора се једноставно упоређује са померањима преко израза:

$$R_d' = R_d \frac{S'}{S} \quad (3.1)$$



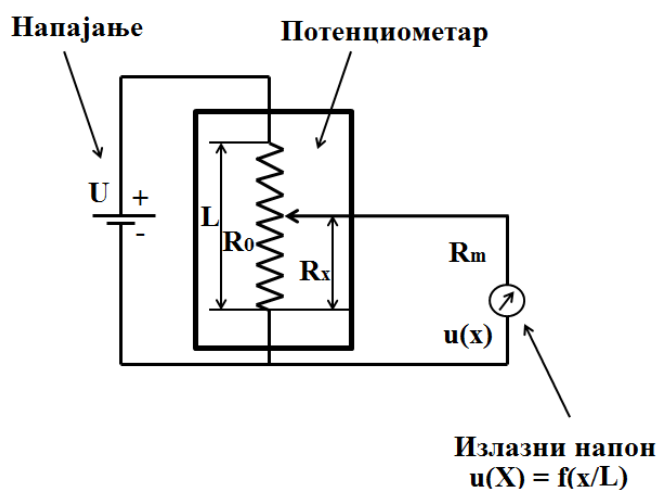
Слика 4. Отпорни давачи са клизачем за мерење линеарног померања: S - дужина проводника, R_d - отпор давача [1]

Најједноставнији давачи ове врсте су потенциометри, који се могу изводити на различите начине.

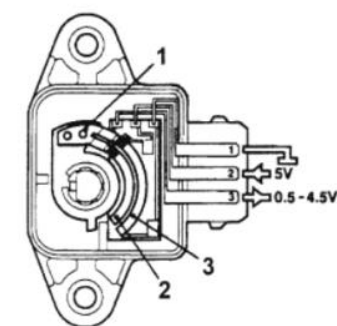
3.1.1. Принцип рада потенциометра

Потенциометарски давачи (потенциометри) се користе за мерење транслаторног и угаоног померања. Направљени су од отпорног материјала одређене дужине, L , са клизачем од проводног материјала који клизи по површини отпорног материјала. Потенциометар има 3 извода, два на крајевима и један тзв. средњи извод који је везан за клизач. Транслаторно кретање се мери помоћу потенциометра у облику шипке, изграђених од хомогеног отпорника намотаног на шипкасто језгро од изолационог материјала, слика 5. Угаоно кретање се мери потенциометрима у облику круга, уколико су углови од 360° , слика 6.

Материјали од којих се израђују потенциометри треба да имају мали температурни коефицијент ширења (карма, манганин, проводне пластичне масе). Ова врста сензора је осетљива на отпорност и хабање.



Слика 5. Линејски потенциометар [1]



- 1 = Клизни контакт
- 2 = Основни контакт
- 3 = Променљиви отпор

а)

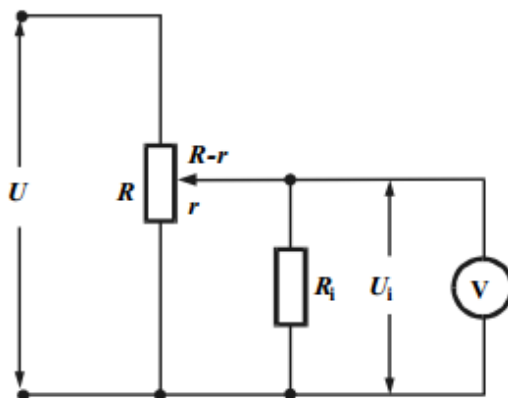


б)

Слика 6. Кружни потенциометар: а) шема, б) физички изглед [7]

3.1.2. Потенциометарска шема (U метод)

Потенциометарска шема (U метод) се примењује за мерење отпора давача на блиским растојањима. Давач има облик потенциометра, тј. отпорника са клизачем и погодан је за мерење механичких величина. На излаз потенциометарског давача отпора R , прикључује се мерни блок чији је улазни отпор R_i , слика 7.



Слика 7. Потенциометарска шема: R -отпорни давач, R_i -улазни отпор, U_i -напон мерног блока, U - наизменични напон напајања, r - део отпора потенциометра [3]

Напон мерног блока, U_i , може се добити помоћу следеће зависности:

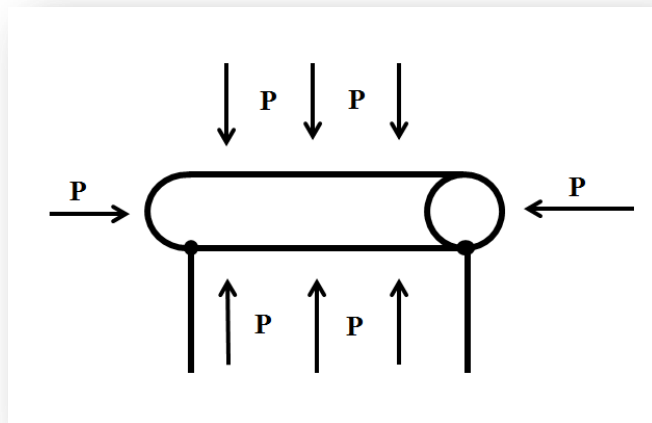
$$U_i = \frac{U}{(R-r) + \frac{rR_i}{r+R_i}} \cdot \frac{rR_i}{r+R_i} = U \frac{rR_i}{RR_i + Rr - r^2} \quad (3.2)$$

где су:

- U - наизменични напон напајања потенциометра,
- r - део отпора потенциометра.

3.2. Отпорни давачи са еластичним елементом

Промена отпора код ових давача се остварује променом димензије отпорног елемента. Промене отпора су једнозначно сразмерне променама механичких параметара само у оквиру границе еластичности односних материјала, зато се ови давачи и називају давачи са еластичним елементом. Најједноставнији давач помоћу кога може да се мери притисак је приказан на слици 8.

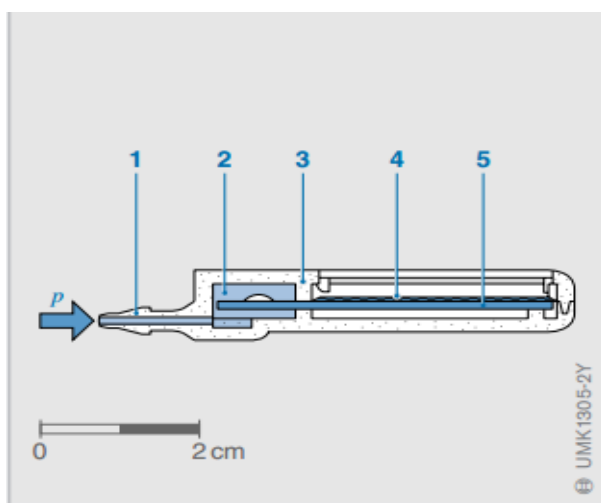


Слика 8. Давач за мерење притиска: P - притисак [1,3]

Давач је изведен као метални штап одређеног пречника, који је на оба краја повезан електричним проводницима и изложен са свих страна притиску, p . Под дејством овог притиска доћи ће до деформисања штапа (смањивање његове дужине и пречника). Принцип рада овог давача је заснован на познатом закону да отпор проводника зависи од његових димензија и специјалног отпора.

3.2.1. Двослојни сензори притиска

Двослојни сензори притиска се користе за мерење притиска. На возилима се уграђују у електронској контролној јединици. Сензор је распоређен у мерној ћелији која се налази на керамичкој подлози, слика 9. Ћелија за мерење притиска садржи балон у облику двослојне мембране која затвара референтни притисак од 0,1 bar. Мембрана се деформише док се притисак мери. На мембрани постоје четири отпорника који су повезани у коло. Два отпорника су активна и налазе се у центру мембране и мењају отпорност када се примењује механичко напрезање. Друга два отпорника се пасивна и налазе се на ободу мембране и функционишу као мерни мост.



Слика 9. Давач притиска: 1- улаз мерења притиска, p , 2- мерна ћелија, 3- затварач, 4-коло, 5- двослојна керамичка подлога [8]

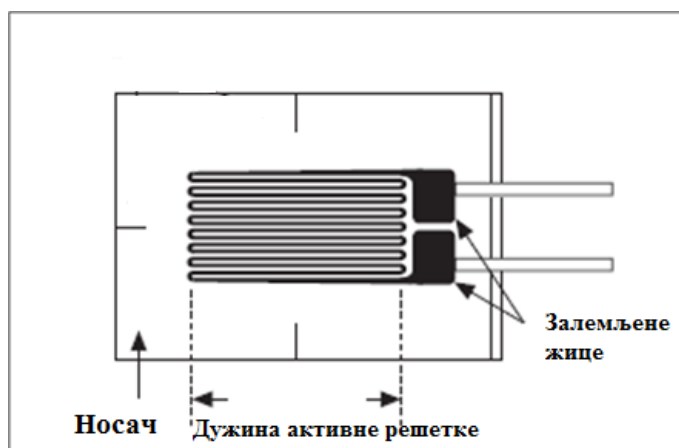
Када се мери притисак, мембрана се деформише и уравнотежава мерни мост. Приликом мерења напона, U_m , уједно је измерен и притисак. У колу се појачава напон, и компензује утицај температуре. Тада се излазни напон, U_a , шаље у електронску контролну јединицу.

3.3. Мерне траке

3.3.1. Принцип рада мерних трака

Мерне траке су данас најшире коришћени електрични отпорни давачи. Мерне траке су пасивни давачи. У мерној техници, највише се употребљавају као давачи за мерење напрезања, силе, напона, момента. Мерење промене отпора се заснива на линеарном издужењу, у правцу жице.

Овај давач је изведен са једном отпорном жицом, везаном за посебан носач - фолију, који се специјалним лепком учвршћује за мерни објект, слика 10. На тај начин се омогућава да се све деформације на површини мерног објекта, на месту где је залепљена мерна трака, преносе на мерну жицу.



Слика 10. Шематски приказ мерне траке [3]

Примена мерне траке се заснива на зависности електричног отпора, R , проводника кружног пресека дужине, L , и попречног пресека S [3]:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3.3)$$

На основу овог Омовог закона имамо:

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{4l}{\pi d^2}, \quad (3.4)$$

где су:

d - пречник проводника мерне траке

ρ - специфични отпор мерне траке

Стварна вредност релативног издужења добија се на основу формуле:

$$\varepsilon' = \frac{1}{n} \frac{K_0}{\alpha K} c \varepsilon \quad (3.5)$$

где су:

- п - број активних мерних трака,
- К - фактор примењене мерне траке,
- K_0 - фактор инструмента,
- ε - очитана вредност релативног издужења,
- с - фактор корекције с обзиром на омски отпор примењене траке и
- α - фактор корекције с обзиром на дужину проводника.

Нормални и тангенцијални напон се израчунавају према формулама:

$$\sigma = E\varepsilon' \quad , \quad \tau = 2G\varepsilon' \quad (3.6)$$

где је Е - модул еластичности, а G - модул клизања материјала од којег је израђена мерна трака.

Закон промене отпора мерне траке у функцији од деформација дат је изразом као што је случај код затегнуте жице:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l} = K\varepsilon \quad (3.7)$$

Величина К представља К- фактор мерне траке. Вредност К-фактора зависи од врсте материјала мерне траке и разликује се за разне врсте легура. К- фактор има одлучујући утицај на тачност мерења. При променама температура мења се и К- фактор, посебно за неке материјале. Посебни начини повезивања мерних трака омогућавају компензацију утицаја промене температуре. Мерне траке са жицом или фолијом имају фактор осетљивости око 2, док полупроводничке могу имати фактор осетљивости до 200.

Лакше је одабрати мерну траку за ниске него за високе температуре. За уобичајене температуре од 200 до 100⁰С, користи се мерна трака чији је носач решетке на бази смола. Код испитивања делова који су изложени високим температурама, примењују се “голе решетке” мерних трака, без носача. Лепљење ових “голих решетки” врши се посебном врстом лепкова од керамике.

3.3.2. Врсте мерних трака

Постоје различити типови мерних трака који се разликују по материјалу, величини, облику и начину израде. Два облика мерних трака која се најчешће користе су:

- жичане мерне траке и
- мерне траке у облику танке металне фолије.

Жичане мерне траке, слика 11 а) се израђују од танке отпорне жице (пречника 10-30 mm), која се специјално савија и лепи на танке фолије изолатора. Оваква трака се лепи на површину која се деформише, у правцу највеће деформације.

Мерне траке у облику танке металне фолије (дебљине 2-10 mm), су залепљене на носач од изолятора, слика 11 б). Овако добијена мерна трака се може поставити на одговарајућу површину.



Слика 11. Мерне траке: а) жичаног типа, б) у облику танке металне фолије [10]

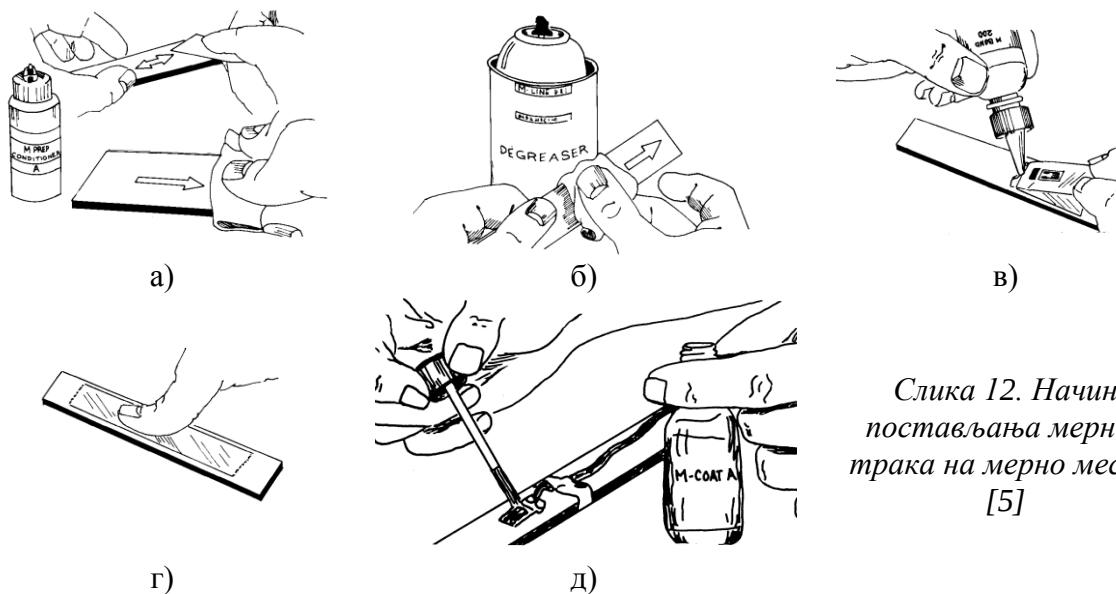
Мерне траке се користе за мерење напона на разним елементима машина, за мерење одговарајућих деформација. Њихов опсег мерења условљен је низом чинилаца: еластичношћу отпорног елемента, еластичношћу носеће фолије, лепка и залепљене везе, конструкцијом мерне траке, температуром, итд. Знатно већи опсег мерења имају мерне траке код којих је отпорник изведен од металне фолије. Материјал фолије мора да буде врло добар изолатор.

Мерна места се одређују у зонама мерног објекта у којима се очекују максимални напони. Зоне максималних напона одређују се на основу искуства за дате конструкције. Знатно већи број мерних трака треба распоредити дуж елемента уколико желимо да добијемо дијаграм расподеле напона.

Постоје различите врсте лепкова за лепљење мерних трака са тзв. хемијским отврдњавањем. Овакви лепкови омогућавају потпуно отврдњавање за кратко време на собној температури. За рад са високим температурама користе се керамички лепкови. Избор лепка треба да се усклади са материјалом фолије мерне траке. Поред избора лепка и мерне траке, треба да се припреми и површина на коју ће се лепак наносити. Ова површина мора да буде потпуно чиста и благо храпава.

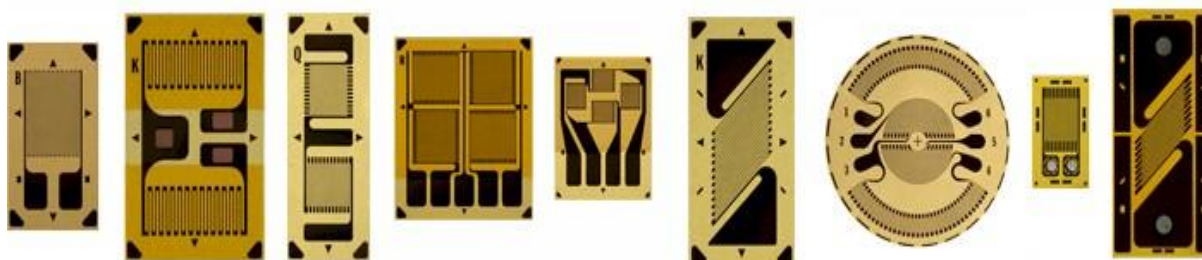
3.3.3. Начин постављања мерних трака на мерно место

Површина на којој се лепи мерна трака мора да буде очишћена шмирглом, па затим брушена, слика 12 а). Најповољнија храпавост износи 5-10 μm . Пре него што се приступи лепљењу, потребно је површину мерног објекта и површину мерне траке одмастити, слика 12 б). За одмашћивање се користи ацетон, бензол и тетраклор угљеник. После одмашћивања, приступа се лепљењу мерне траке, слика 12 в). Средства за лепљење су лепкови на бази целулозе и вештачких смола. Лепак се наноси у танком слоју на површину мерног објекта или на мерну траку. Мерна трака се затим лепи на мерно место и притисне папиром за упијање, а врхом прста врши притискивање, како би се покупио вишак лепка ван траке, слика 12 г). Затим се мерна места на којима су траке залепљене и осушене, заливају се воском или смолом, како би се заштитиле од дејства влаге, слика 12 д).



Слика 12. Начин постављања мерних трака на мерно место [5]

Мерне траке могу да се изводе на друге начине, зависно од врсте и облика мерног објекта, услова мерења и напона тј. деформација које се мере. Постоје неколико различитих конструкција мерних трака (линијске, розете), слика 13.



Слика 13. Различити облици мерних трака [9]

Потребно је да се истакне да се мерне траке обично раде са отпором од 120, 300, 600 или 1000 Ω . Највећу примену имају мерне траке отпора 120 Ω .

Помоћу мерне траке мере се деформације у правцу у коме је трака постављена. Грешке које изазивају услед постојања евентуалних деформација су релативно мале. Зато траке треба да се постављају у правцу дејства главних напона. При мерењу напона, мерне траке се постављају под углом од 45° у односу на подужну осу вратила, а при мерењу на површинама на којима правац напона није познат користе се мерне траке под углом од 45° и 90° , или 60° и 120° .

Тачност мерења помоћу мерних трака може ићи и до 0,1%, а одступања од линеарности су око 1%. Динамичке карактеристике мерних трака зависе од конструкције траке и носача, величине траке и слично. Комерцијалне траке могу да прате варијације деформације са фреквенцијама до неколико стотина Hz.

Жица мерне траке је врло малог пречника - око 0,02-0,03 mm. За остварење отпора од 100 до 300 Ω , потребна је одговарајућа дужина жице, у зависности од материјала. Дужина се остварује већим бројем навоја жице.

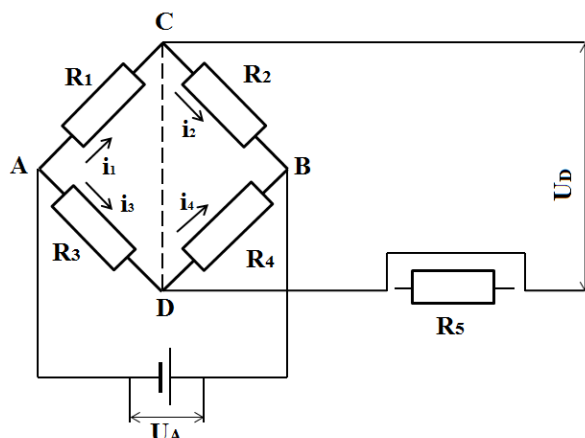
Означавање мерних трака врше произвођачи по својим интерним стандардима. Од мерне траке се захтева: линеарна зависност, велики К-фактор, велики специфични отпор, мали температурски коефицијент издужења.

Мерна трака се истеже услед напрезања, као и услед температурне промене. На залепљену мерну траку дејствују температурни фактори као што су:

1. топлотна дилатација материјала на коме је постављена мерна трака,
2. топлотна дилатација мерне траке и
3. промена отпора мерне траке услед промене температуре.

3.3.4. Витстонов мост

Промена отпорности траке се мери помоћу мерног моста (Витстоновог моста), тако да се као излаз добија аналогни електрични сигнал. Промена отпора зависи и од температуре, па се у овом случају може извршити компензација за промену температуре. У гранама Витстоновог моста постоје отпори R_1, R_2, R_3 и R_4 , слика 14.



Слика 14. Витстонов мост [1]

Између наспрамних тачака имамо једносмерни напон, U_A . Ако су отпори произвољни, имамо дијагонални напон, U_D . Отпори се могу подесити тако да напон у дијагонали буде једнак нули, $U_D = 0$. За тај случај имамо да је [4]:

$$R_1 i_1 = R_3 i_3 \quad (3.8)$$

$$R_2 i_2 = R_4 i_4$$

За Витстонов мост важи:

$$R_1 i_1 + R_2 i_2 = U_A \quad (3.9)$$

$$R_3 i_3 + R_4 i_4 = U_A$$

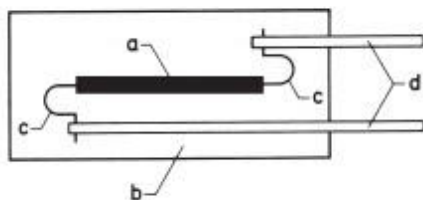
или

$$R_1 i_1 + R_2 i_2 = R_3 i_3 + R_4 i_4 \quad (3.10)$$

Промена отпора и напона у дијагонали су линеарни. Поступак мерења дијагоналног напона одвија се без присуства струје. Кроз отпор R_5 не тече струја, јер $R_5 \rightarrow \infty$. Ово је случај код инструмената за мерење напона код којих је улазни отпор инструмената велики у односу на отпоре у Витстоновом мосту. Витстонов мост се и данас много примењује у техници сензора. Када се у једну грану моста прикључи отпорни сензор, напон на излазној дијагонали моста је нелинеаран са променом отпора сензора. Само за мале промене може се сматрати да је излаз линеаран. Линеаризација се лако постиже са два операциона појачавача.

3.3.5. Полупроводничке мерне траке

Поред мерних трака постоји посебна врста отпорних давача - мерне траке са полупроводничким отпорним елементом, тзв. резистори. Код полупроводничких мерних трака, отпорни елемент је механички исечен из кристала силикона, који има високи пиезо-отпорни ефекат. Електрична проводљивост ових кристала је зависна од оптерећења. Ове траке су осетљивије од трака са металним елементом, чији је К-фактор на нивоу од 100 до 200. Прикладне су за мерење врло малих деформација. Поред ових предности имају и недостатке. Веома су осетљиве на промену температуре, и мењају карактеристике током времена. К-фактор траке са полупроводничким елементом зависи и од нивоа напона који се мери. На слици 15. је приказана нека конструкција чији је номинални отпор ових трака обично 120Ω .



- a Мерна решетка
- b Полупроводнички материјал
- c Полупроводничка жица
- d Повезана трака

Слика 15. Пример конструкције полупроводничких мерних трака [9]

3.3.6. Практична примена мерних трака

Треба обратити пажњу на величине које у поступку мерења утичу на мерне траке. То су: температура на месту мерења, влага, динамичка оптерећења, притисак, постојање магнетног или електричног поља, постојање хемијских утицаја.

Све мерне траке се могу користити за решавање задатака експерименталног одређивања напона и деформација, али постоје и разлике између појединих типова мерних трака. За експерименталну анализу напонских стања имају предност робусне и флексибилне мерне траке које могу да се користе при различитим утицајима.

Немачка фирма HBM, мерне траке које задовољавају оштре захтеве тачности обележава као мерне траке серије “G”, док је серија “K” развијена за прављење давача.

У случају једноосног напрезања користе се стандардне мерне траке, а у случају двоосног, користе се розете са решеткама. У односу на температуру која се очекује на мерном месту, врши се избор мерних трака према препорукама произвођача.

3.4. Отпорни давачи температуре

Температура је физичка величина која представља степен загрејаности тела. Температура је повезана са термичким кретањем молекула или атома са његовом унутрашњом енергијом. Температура је активна величина. Њен карактер се огледа у томе што ће приликом дељења тела на више делова сваки део задржати температуру тог тела. У посматраној средини која је у гасној или течной форми, мерење може бити извршено у било којој тачки. У случају чврстих тела мерења су углавном везана за површину тела. При узајамном деловању два тела са различитим температурама прелази топлота од тела са већом енергијом на тело са мањом енергијом. Давачи температуре могу да се решавају на више начина. Давачи температуре морају бити у директном контакту са средином у којој се мерење врши, да би се што прецизније измерила температура.

У циљу осигурања да измерена температура остане без икаквог утицаја од стране кућишта давача, који је обично различите температуре, треба бити добро топлотно изолован од њега. Пошто и изолација утиче на резултате, топлота развијена од већине давача треба бити на минимуму. Динамички одзив температурног давача је одређен временском константом, τ . Ово време дефинише време потребно да давач достигне 63%, 90% или 99% његових крајних резултата, када је изложен промени температуре.

Мерење температуре у возилу се углавном заснива на промени отпорности услед промене температуре са позитивним или негативним температурним коефицијентом. Термометри са директним контактом заснивају се на овој појави. Претварање температурне промене врши се додавањем још једног отпорника да би се формирао напон. Намена температурног мерења коришћена је за заштиту путника у возилу као и за удобност.

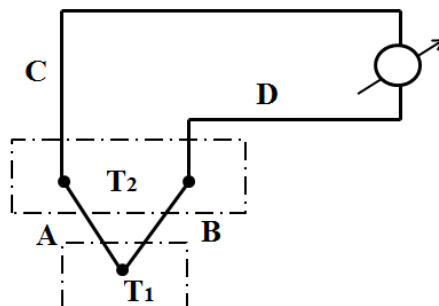
Најширу примену у испитивању моторних возила имају давачи температуре који раде на принципу термоелектрицитета тзв. термоелементи. Они у зависности од температурних разлика на крајевима проводника развијају одређену електромоторну силу. Основни услов је да проводници буду изграђени од различитих материјала са што већом отпорношћу.

3.4.1. Термоелементи (термопарови)

Када два проводника од различитих материјала спојимо на два краја, тако да чине струјно коло, и када се један од крајева загрева, кроз струјно коло почиње да тече струја која зависи од разлике температуре на спојеним крајевима. Ако струјно коло прекинемо, тада напон на крајевима отвореног кола зависи од температуре споја. На овом принципу заснивају свој рад отпорни давачи температуре - термоелементи.

Термоелементи, који се другачије зову и термопарови, не захтевају напајање енергијом споља. Могу се користити за мерење температуре у опсегу од -260 до $+2800$ $^{\circ}\text{C}$.

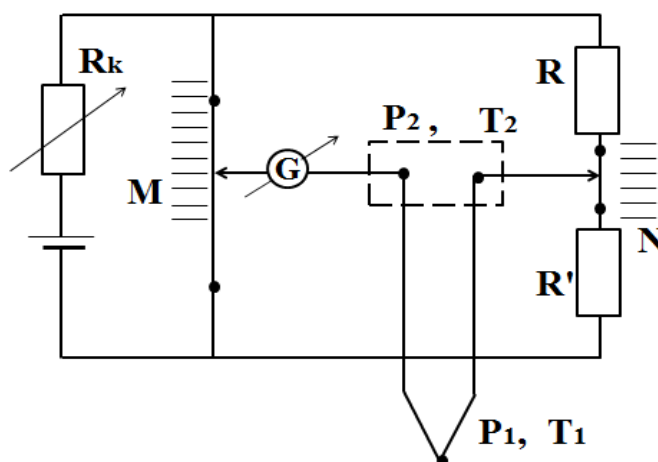
Принцип мерења температуре помоћу термоелемената је приказан на слици 16. Инструмент за мерење напона струје која се генерише постављен је у колу које је формирано термоелементом А и В и проводницима С и D који су од бакарне жице. Електромоторна сила која се у овом колу развија сразмерна је разлици температуре топлог и хладног краја термоелемента. Уколико су крајеви термоелемента једнаки, електромоторна сила је равна нули. За тачно мерење температуре мерног објекта, неопходно је да се температура хладног краја одржава константом.



Слика 16. Термоелемент [1]

Ако се хладан крај термоелемента држи у посуди са ледом, у већини случајева ово није изводљиво, јер то доводи до промене температуре на хладном крају, а тиме и до појаве грешака у мерењу. Зато се морају обезбедити одговарајуће компензације. Системи компензовања грешака могу да буду ручни или аутоматски.

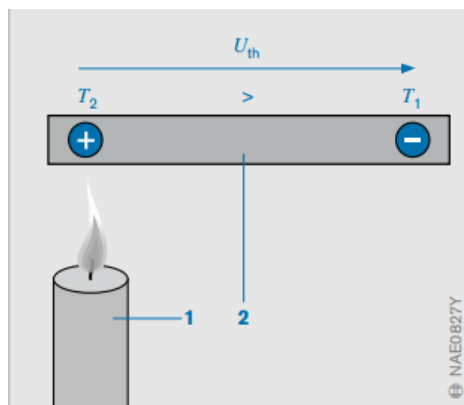
Мерни систем са ручном компензацијом приказан је на слици 17. Електромоторна сила споја R_1 читава се на скали M, тек после кад се изврши ручна компензација на потенциометру са клизачем N, а у односу на температуру хладног краја, R_2 , се мери помоћу галванометра, G. Напаја се из једне батерије, преко отпорника повезаних у мост.



Слика 17. Мерни систем са ручном компензацијом [1]

Слично се решава и аутоматско компензовање промене температуре хладног краја. Хладан крај се везује у пун мост, са четири отпорника. Мост се напаја из батерије, малог напона. Ако у току рада дође до промене температуре у хладном крају, доћи ће и до промене отпора. Смањење утицаја промене температуре хладног краја термоелемента може да се постигне и коришћењем термопарова који имају нелинеарну карактеристику. Као температура хладног споја се најчешће користи температура од 0°C . Осетљивост мерења температуре термоелементом зависи од употребљеног термопара и начина мерења електромоторне силе. Може се постићи осетљивост до 10^{-3}°C . Ако се температура хладног краја мења у току мерења и до 200°C , грешке у мерењу не прелазе 2%.

Мерење температуре помоћу термоелемента се заснива на Seebeck-овом ефекту, слика 18, тј. појави да на спојевима два различита метала, настаје електромоторна сила, која зависи од врсте метала у споју. Температура топлијег споја се мери на основу мерења произведене електромоторне силе.



Слика 18. Seebeck-ов ефекат: 1- Извор топлоте, 2- метални проводник, +високо, - ниско термално убрзање електрона, T_2 -висока температура, T_1 -ниска температура, U_{th} - термоелектрични напон [8]

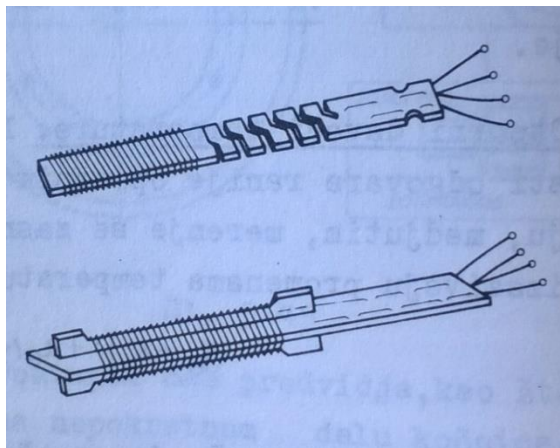
Уградња термоелемента на мерни објекат представља посебну проблематику. Термоелемент треба да се постави што ближе површини чија се температура мери, тако да не дође у додир са другом фрикционом површином.

Термоелементи се производе од метала или полупроводника, у облику жица, трака или филмова. Спајање се врши заваривањем или лемљењем. Да би се остварила отпорност на хемијске утицаје, топли крај термоелемента се штити на различите начине керамичким телима за раздвајање жица и заштитним цевима од керамике или метала.

3.4.2. Метални отпорнички давачи температуре

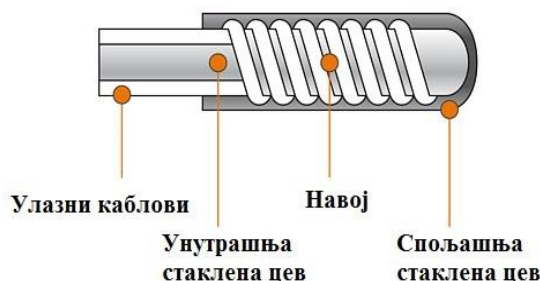
Принцип рада отпорних давача температуре је сличан као и код осталих отпорних давача. Мерење се заснива на променама отпора које се изазивају променама температуре. Отпорни давачи могу да се изводе на два начина: са металним и са полупроводничким отпорним елементом.

Метални отпорни елемент израђује се од никла, бакра, легуре злата и сребра и других метала. Отпорна жица је танка око 0,2 пречника до 0,6 mm, слика 19. При уградњи ових давача посебно треба да се води рачунао заштити отпорника од утицаја влаге и других чинилаца који могу да утичу на величину отпора. Овакви давачи обично су постављени у посебне изолационе заштитнике. У случају мерења температуре на површини мерног објекта, отпорни давачи се изводе у облику мерних трака. Давачи температуре са металним отпорним елементом одликују се врло високом тачношћу.



Слика 19. Метални отпорни давачи температуре [1]

Поједини давачи температуре се користе у облику намотане спирале на крстастом керамичком носачу. Употребљавају се отпорни термометри са намотајима затопљеним на унутрашњу површину стаклене цеви, слика 20. За најтачнија мерења употребљавају се термометри са слободном жицом ослобођеном у неколико тачака.



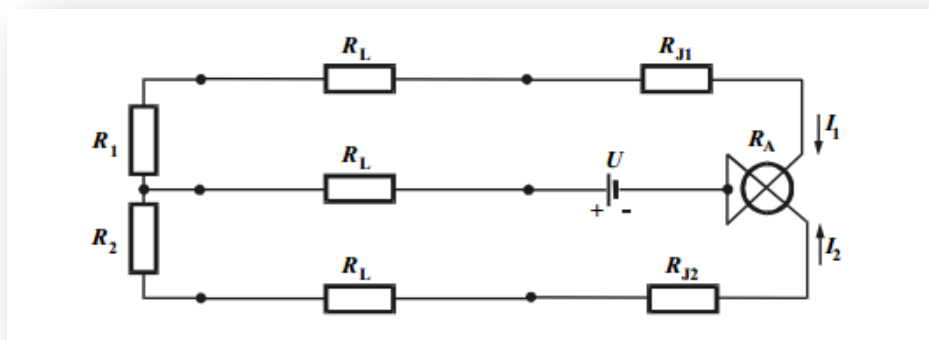
Слика 20. Отпорни термометри са намотајима [10]

Код отпорних термометара (RTD – Resistance Temperature Detector), електрични отпор расте са порастом температуре. Промена отпора може се написати помоћу другог реда полинома који се може употребити за карактеризацију отпорног термометра у интервалу температура од -40°C до 630°C [6]:

$$R_t = R_0 (1 + at + bt^2) \quad (3.11)$$

За бакар могуће је занемарити квадратни члан и у том случају се добија линеарна зависност. Отпор каблова којима се повезује отпорни термометар са извором електричне енергије може бити и до неколико десетина Ω , што изазива грешке при мерењу. Избегавање таквих грешака је могуће спајањем Витстоновог моста.

Мерне шеме са логометром се примењују за даљинско мерење отпора давача температуре. Логометар је инструмент са два намотаја, укрштена под углом α на покретном систему, слика 21. На посебном профилу зазора се налази магнетно поље. Карактеристика између показивања α и мерног отпора је приближно линеарна када је мерени отпор R_2 , а нелинеарна када је мерени отпор R_1 . Осетљивост мерења у првом случају је константна, а у другом зависна од тренутне вредности R_1 .

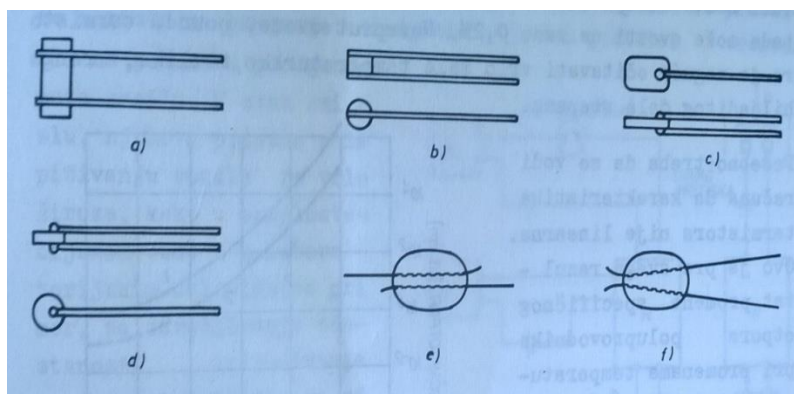


Слика 21. Шема отпорног сензора са логометром [3]

Основне предности мерних шема са логометром показују се у мостовима и мерним колима са нестабилним напајањем. Струје у оба намотаја логометра пропорционалне су напону напајања. Ова особина логометра очувана је у дијапазону промене напона напајања од $\pm 30\%$ од номиналне вредности. Отпор R_1 би требало да буде једнак укупним отпором линије $R_L + R_j$ око 50Ω .

3.4.3. Полупроводнички отпорни давачи температуре - термистори

Друга врста отпорних давача температуре или тзв. термистори, имају отпорни елемент од полупроводника, са високим температурским коефицијентом промене отпора. Типични облици извођења термистора су приказани као на слици 22. Димензије су има веома мале, тако да се омогућава лака уградња па чак и на много малим мерним објектима. Термистори се користе за мерење температуре. Као резултат прецизности и јефтине израде, најчешће су коришћени полупроводни отпорници засновани на чврстим металним оксидима и оксидираним мешаним кристалима.

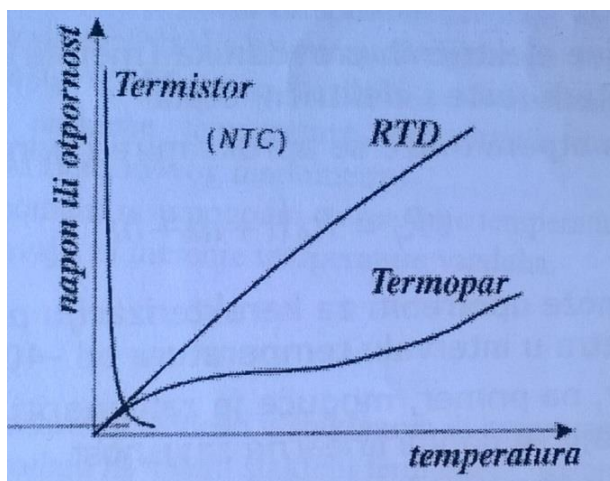


Слика 22. Типични облици извођења термистора [1]

Принцип рада ове групе термометара се заснива на зависности отпорности метала, електролита или полупроводника од температуре. Отпорна жица се мота на крстасти носач, и утапа у керамички носач. Према стандарду, изграђују се у два номинална опсега, са отпорностима од $10\ \Omega$ и $100\ \Omega$.

Карактеристика се значајно мења са повећањем температуре, а и отпорност такође варира 4 до 5 десетих делова, обично од $100\ \text{k}\Omega$ до пар десетина ома. Ова температурна промена значи да је примена ограничена на око $200\ \text{K}$. Примена може бити у опсегу од -40°C до 850°C .

Термистори су температурно осетљиви отпорници. Промена температурног коефицијента код термистора може бити чак и до неколико процената по 1°C . Изграђени су од полупроводничких материјала и најчешће имају негативан температурни коефицијент (NTC), слика 23. Метални слојеви су мање осетљиви на мање промене температуре од керамичких-оксидних полупроводних давача. Платина има најнижи температурски коефицијент као и најбољу карактеристику стабилности при старењу.



Слика 23. Нелинеарна карактеристика термистора у температурном опсегу [1]

Материјали за израду термистора су: смеша оксида мангана, никла, кобалта, бакра, гвожђа, цинка, алуминијума и магнезијума. Термистори се производе пресовањем спрашених смеша ових материјала у облику куглица, цилиндара или дискова и синтеровањем на повишеној температури у керамички материјал, слика 24.



Слика 24. Различити облици термистора [6]

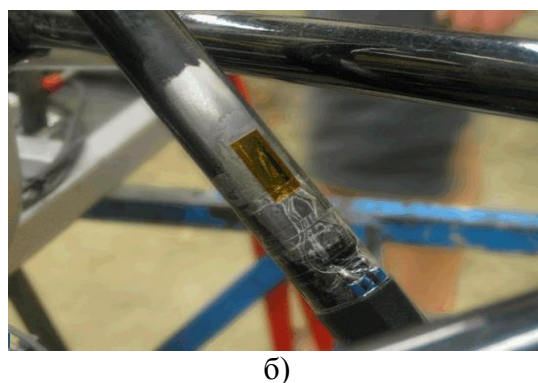
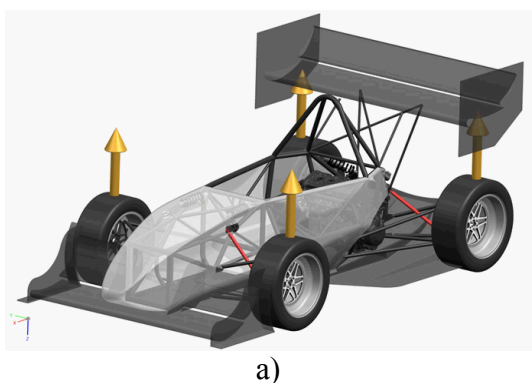
Предности термистора су: адаптивност облика и величине, мали топлотни капацитет, велика осетљивост, одвођење топлоте из средине у којој се мери температура, лака уградња, релативно ниска цена. Недостаци су: нелинеарна карактеристика, мали температурни опсег, нестабилност на вишим температурама, повећано самозагревање и њихово старење. Ово може да доведе до грешке, од 1% до 1,5%. Ако се тражи висока тачност, требало би да се пре коришћења термистора подвргну вештачком старењу, тако што се држе одређено време на већој температури од оне која се очекује при мерењу. Грешка се тада може смањити на 0,2%.

4. Примери практичне примене отпорних давача у испитивању моторних возила и мотора

4.1. Примери примене мерних трака у испитивању моторних возила и мотора

Мерне траке се могу везивати за разне делове моторних возила. Употреба мерних трака даје резултате са великом тачношћу и прецизношћу. Вредности резултата добијених мерењем помоћу мерних трака је од великог значаја за безбедност возача.

Мерне траке могу да се користе за мерење оптерећења које се са точкова преносе на шасију возила. На слици 25 а) приказано је возило код кога се оптерећење са точкова преноси на шасију преко система за ослањање. Црвеном бојом је означен систем вођица који је повезан са точковима и шасијом. На вођицу се постављају мерне траке, да би се измерило нормално оптерећење, слика 25 б). Ако нема савијања на вођици, мерне траке се постављају дуж осе вођице. Напон који се преноси преко вођица преноси се и на мерне траке. Вредност промена отпора на мерним тракама обично се даље шаље електронским путем кроз мерну инсталацију.

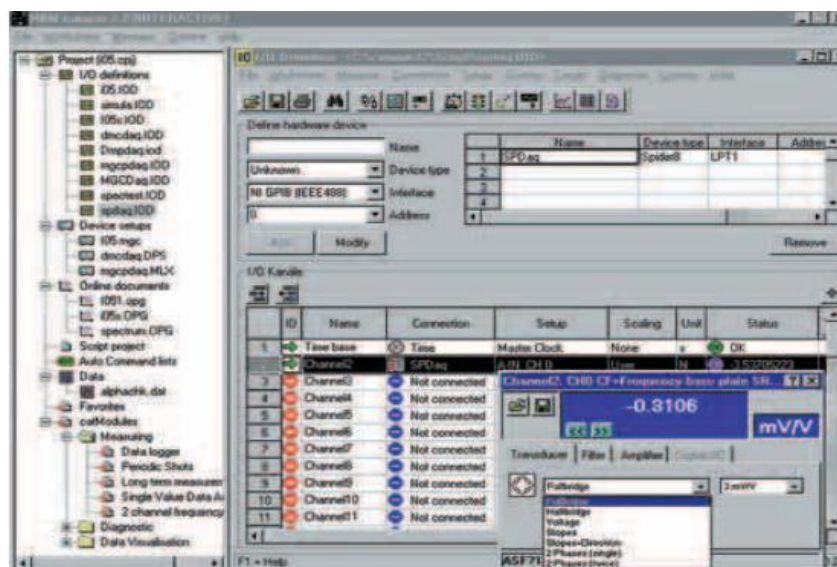


Слика 25. Постављене мерне траке на вођицу система еластичног ослањања [9]

Пре самог мерења врши се калибрација сваке мерне траке. Ако мерне траке нису лепо усклађене са осом на ослонцу онда се може приказати грешка. Све мерне траке мере напон када се уравнотеже са Витстоновим мостом. Резултати који се читају са мерних трака могу бити приказани и графички.

Постоји универзални мерни софтверски програм Catman који се може користити за аквизицију и обраду резултата мерења уз помоћ мерних трака. Користећи програм Catman, уређаји за мерење се могу лако подесити. Поред тога, сви параметри се могу штампати, чувати и поново преузимати. Тип уређаја и интерфејс у Catman-у су тако направљени да се може одмах почети са мерењем. Измерене вредности ће бити одмах приказане на графичком екрану. Међутим, корисник такође може да сам подешава свој екран на монитору и користи га без икаквог програмирања, слика 26. Формат за чување података је већ подешен. Одлична карактеристика нове верзије

Catman је истовремени унос података из различитих уређаја. Након стварног мерења, могуће је да се врше математичке обраде података.



Слика 26. Кориснички интерфејс са програмом Catman [9]

Поред употребе при испитивању система за ослањање, мерне траке могу да се користе при испитивању напрезања и на другим деловима на возилу. Неки од примера употребе мерних трака у испитивању моторних возила су:

- мерење силе улежиштења код котрљајног лежаја,
- мерење оптерећења на педали команде за кочницу или спојницу,
- мерење напрезања на наплатку точка,
- мерење оптерећења на шасији теретног возила,
- мерење сила у елементима система еластичног ослањања возила,
- мерење напрезања на завојној опрузи,
- мерење напрезања на наплатку пнеуматика,
- мерење напрезања на спони возила,
- мерење момента заокретања на точку управљача и сл.

На слици 27. приказан је пример употребе мерних трака у мерењу силе улежиштења котрљајног лежаја на возилу.



Слика 27. Мерење силе улежиштења код котрљајног лежаја [9]

Мерне траке се могу успешно користити за мерење напрезања на педали система за кочење, као што је приказано на слици 28.



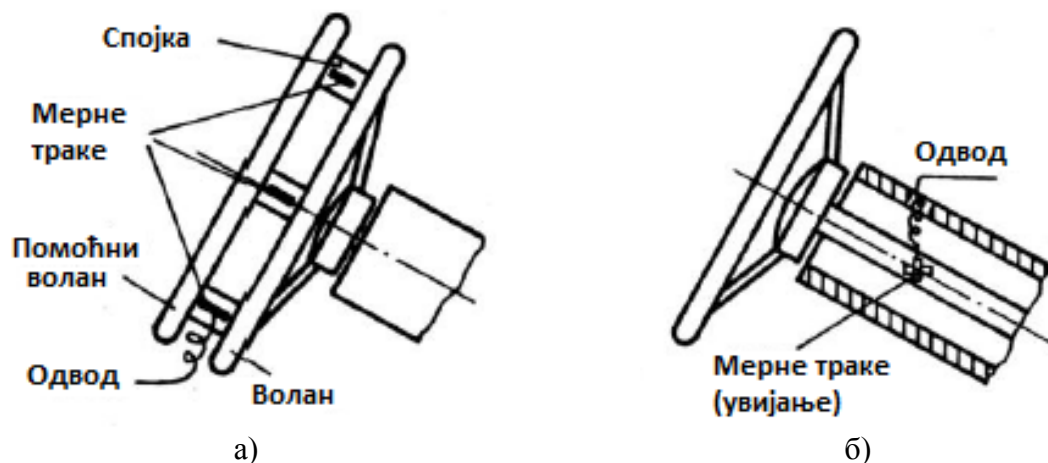
Слика 28. Мерење напрезања на педали возила [8]

На слици 29. је приказан начин постављања мерне и компензационе розете на спони путничког возила. Розете су залепљене на мерним местима у складу са правилима за припрему површина и лепљење мерних трака. По једна мерна трака са активне и компензационе розете везују се за Витстонов полу-мост и формирају један канал мерно-појачавачког моста. Информације о напрезању споне се добијају пеко три полу-моста.



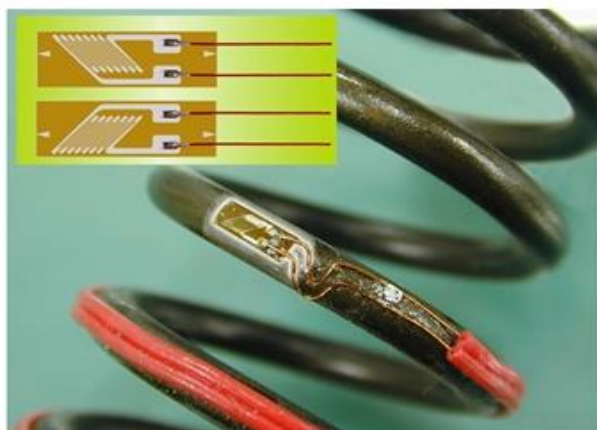
*Слика 29. Постављање розета на спони:
1- активна розета, 2- компензациона розета [1]*

Обртни момент на вратилу точка управљача може да се мери на различите начине, уз помоћ мерних трака. Боље је ако се инсталацијом не утиче на управљање тј. држање точка управљача, али се због лакше уградње понекад користе и посебни уређаји, слика 30.



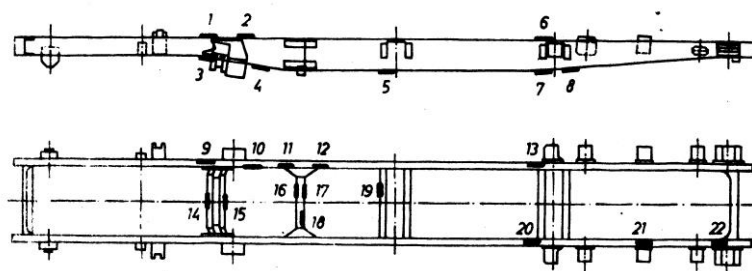
Слика 30. Мерење момента заокретања на точку управљача: а) помоћу адаптационог уређаја, б) помоћу мерних трака на стубу управљача [1]

Мерне траке се могу користити и за мерење напрезања опруга система еластичног ослањања возила, као што је приказано на слици 31.



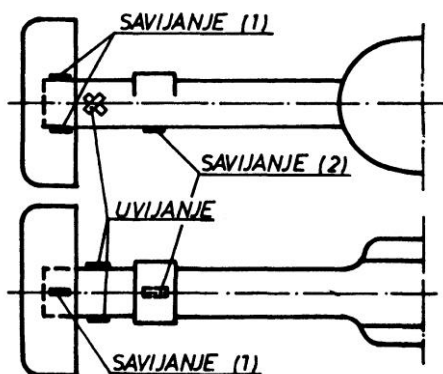
Слика 31. Мерне траке постављене на завојној опрузи [10]

Оптерећења носећих конструкција, оквира, каросерије, могу да буду по карактеру веома сложена. Основни проблем при њиховом мерењу у експлоатационим условима представља одређивање места мерења, тј. места где се јављају максимални напони. На слици 32 приказана је шема непосредног мерења напона на једном оквиру возила уз помоћ сета мерних трака.



Слика 32. Мерне траке постављене на оквиру возила: 1-22 мерне траке [1]

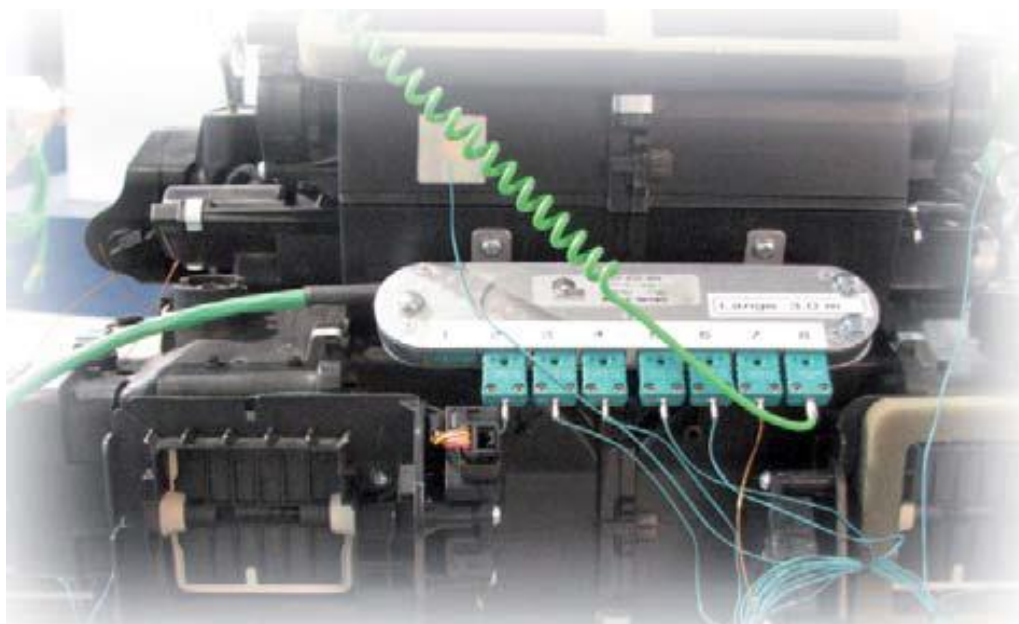
Код свих извођења погонских полувратила, од интереса је мерење не само торзионих, већ и нормалних оптерећења, тј. мерење момената савијања. Код потпуно растерећених система, корисно је да се уз то мере и одговарајућа напонска стања на кућишту погонског моста. На слици 33. је приказано једно од могућих решења за спровођење ових мерења уз помоћ мерних трака.



Слика 33. Мерење напонских стања на кућишту погонског моста [1]

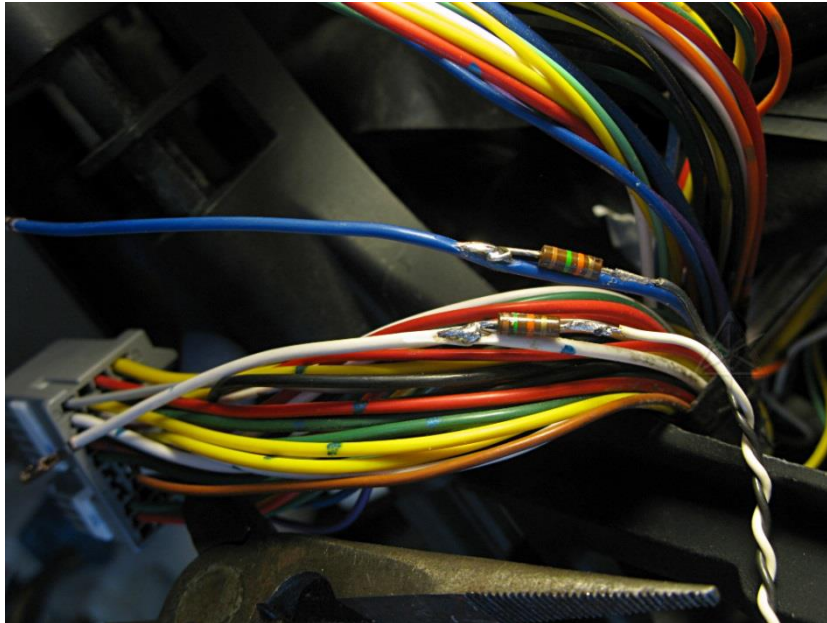
4.2. Примери примене термопарова у испитивању моторних возила и мотора

Код мерења температуре мотора возила, лако се могу поставити термопарови на део мотора, чију температуру желимо да измеримо, слика 34. Штете при оваквом мерењу се могу избећи зато што је кућиште пластично. Конектори су произведени од алуминијума где пружају бројне могућности у односу на конекторе који су од других материјала. Конектори су веома осетљиви, па се мора водити рачуна да површина буде очишћена од прашине, масноће, како би мерење било успешно и тачно.



Слика 34. Начин постављања термопарова на мотор [6]

У електронској контролној јединици мотора је потребно да се подесе опције система базиране на температури. То је кључно за правилно функционисање система када мотор достигне радну температуру и температура је тада прецизно сигнализирана у контролној јединици мотора, слика 35. За тачну количину горива која ће бити убризгана у контролној јединици мотора, мора знати тачну температуру мотора. Термистори могу да мере: температуру расхладне течности, температуру усисаног ваздуха и температуру издувних гасова мотора.



Слика 35. Термистори повезани са електронском контролном јединицом мотора [6]

За мерење температуре на погонском вратилу користе се самолепљиви термопарови, који уједно и штеде простор, слика 36. Овакав тип термопарова је осетљив, тако да је, при мерењу, неопходно да мерна површина буде чиста пре лепљења мерних трака.



Слика 36. Залепљени термопарови на погонском вратилу возила[6]

5. Закључак

У завршном раду приказани су начини градње и принципи рада разних отпорних давача. Такође је приказана класификација отпорних давача, њихова област примене, као и могућности њихове употребе у испитивању моторних возила и мотора.

Савремено возило је опремљено великим бројем давача који углавном служе за мерење: напрезања, брзине, убрзања, вибрација, буке, притиска, концентрације гаса, температуре и читавог низа других физичких величина. Излазни сигнали ових давача су временом постали неопходни за спровођење истраживања у инжењерингу, ради постизања боље безбедности, управљивости и удобности возила.

Модернизација аутомобилске индустрије, привлачи технологије које помажу возачу, повећавајући сигурност, удобност и ефикасност саобраћаја. База података о типовима аутомобила и отказима се сваког дана све више и више повећава. Можемо добити све потребне информације о дијагностичким процедурама или преузети нову верзију дијагностичког софтвера. Поправка возила данас захтева нове и софистициране алате, а поправка се више не може замислити без одговарајућег дијагностичког уређаја, који у раду користи информације са већег броја давача.

Отпорни давачи спадају у групу пасивних давача. Постоје више врста отпорних давача као што су: отпорни давачи са еластичним елементом, отпорни давачи са клизачем, мерне траке, отпорни давачи температуре. Користе се за мерење већег броја механичких и других величина, а често и у техници испитивања моторних возила и мотора.

Принцип рада отпорних давача је заснован на физичкој појави да се при променама одређених механичких величина мења унутрашњи отпор проводника. Електрични отпор свих отпорника зависи од температуре. Да би се смањила температура, примењују се конструкције Витстоновог моста.

Најважније групе отпорних давача су:

- отпорни давачи са клизачем (потенциометри),
- отпорни давачи са еластичним елементом и
- мерне траке.

Потенциометарски давачи (потенциометри) се користе за мерење транслаторног и угаоног померања. Помоћу отпорних давача са еластичним елементом може се успешно мерити притисак, док се мерне траке користе за мерење напрезања, силе, напона, момента.

Мерење температуре у возилу се углавном заснива на промени отпорности услед промене температуре. Отпорни давачи могу да се изводе на два начина: са металним и са полупроводничким отпорним елементом. Најширу примену у испитивању моторних возила имају давачи температуре који раде на принципу термоелектрицитета тзв. термоелементи. Друга врста отпорних давача температуре или тзв. термистори, имају отпорни елемент од полупроводника, са високим температурским коефицијентом промене отпора.

Отпорни давачи су нашли широку примену у техници испитивања моторних возила и мотора. Неки од примера употребе мерних трака у испитивању моторних возила су:

- мерење силе улежиштења код котрљајног лежаја,
- мерење оптерећења на педали команде за кочницу или спојницу,
- мерење напрезања на наплатку точка,
- мерење оптерећења на шасији (раму) теретног возила,
- мерење сила у елементима система еластичног ослањања возила,
- мерење напрезања на наплатку пнеуматика,
- мерење напрезања на спони возила,
- мерење момента заокретања на точку управљача и сл.

Отпорни давачи температуре, такође се широко користе у мерењу температуре различитих компоненти возила, као што су: температуре блока мотора, температуре погонских течности (течности за хлађење и подмазивање), температура на фрикционим површинама на возилу (код спојнице и кочнице) и у другим ситуацијама када је потребно познавати информације о термичким оптерећењима делова и система возила.

Литература

- [1] Тодоровић, Ј.: „Испитивање моторних возила“; Машински факултет Београд, Београд, 1979.
- [2] Regtien, P., Chudý, V., Halaj, M.: “Physical principles of sensors” (in Measurement in technology: Exercises from the multimedia courseware METROMEDIA-ONLINE), Vienna University of Technology , Vienna, 2005.
- [3] Поповић, М.: „Сензори и мерења“, Завод за уџбенике и наставна средства, Српско Сарајево, 2004.
- [4] Симић, Д.: „Теорија и примена мерних трака“; Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 1972.
- [5] Micro Measurements: “Strain Gage Installations with M-Bond 200 Adhesive“, Instruction Bulletin B-127-14 , 2014
- [6] Regtien, P., Kureková, P., Halaj, M.: “Measurement of temperature” (in Measurement in technology: Exercises from the multimedia courseware METROMEDIA-ONLINE), Vienna University of Technology , Vienna, 2005.
- [7] Zabler, E. at al.: “Bosch Automotive Sensors”, Robert Bosch GmbH, Stuttgart, 2001.
- [8] CNSC Technical Training Group: „Basic Instrumentation Measuring Devices and Basic PID Control”, Science and Reactor Fundamentals . Instrumentation & Control, 2003
- [9] HBM: “Strain Gages and Accessories”, HBM, Darmstadt, 2003.
- [10] National Instruments: “Dynamic Tire Load Acquisition for Ground Vehicle Handling Analysis with NI CompactRIO“, 2009, преузето са Интернет адресе: <http://www.ni.com/white-paper/9274/en/>