

**Факултет инжењерских наука  
Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Машинско инжењерство**

**Ниво студија: Основне академске студије**

**Модул: Индустијски инжењеринг**

**Предмет: Мерење и управљање**

**Број индекса: 53/2012**

**Немања С. Лукић**  
**Мерење притиска**  
**завршни рад**

**Комисија за преглед и одбрану:**

**1. Проф. др Петар Тодоровић – ментор**

**2. \_\_\_\_\_**

**3. \_\_\_\_\_**

**Датум одбране: \_\_\_\_\_**

**Оцена: \_\_\_\_\_**

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да објасни теоријске основе мерења притиска, као и да објасни основне методе мерења притиска.

Препоручена структура рада:

1. Увод
2. Физичке основе мерења притиска
3. Основне методе мерења притиска
4. Закључак
5. Литература

Препоручена литература:

- [1] Драган Станковић, Физичко-техничка мерења, мерење неелектричних величина електричним путем, Научна књига, Београд, 1987.
- [2] Младен Поповић, Сензори и мерења, Завод за уџбенике и наставна средства, Српско Сарајево, 2004. (посебно погледати стране 247-249)
- [3] Мерење и управљање, Скрипте са предавања

У Крагујевцу, 4. септембар. 2015. године

ментор:  
Проф. др Петар Тодоровић

---

Изјава о самосталној изради рада

Изјављујем да сам овај завршни рад урадио самостално, служећи се стеченим знањем и искуством, као и наведеном литературом.

|              |               |
|--------------|---------------|
| Број индекса | Име и презиме |
| 53/2012      | Немања Лукић  |

**Резиме**

У овом раду разматран је проблем мерења притиска. Циљ је био да се да оптималан преглед информација везаних за ову проблематику, укључујући преглед теорије, потребних образаца за израду прорачуна...

Кључне речи: мерење, притисак, сензор

**Abstract**

In this paper is considered the problem of measuring pressure. The aim was to provide an optimal view information related to this matter, including examination of theory, the necessary forms for budgeting...

Keywords: measuring, pressure, sensor

## Садржај

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.0 Увод</b>                                                          | <b>7</b>  |
| <b>2.0 Апсолутне методе мерења средњих и виших притисака</b>             | <b>9</b>  |
| <b>2.1 Манометри</b>                                                     | <b>9</b>  |
| 2.1.1 Манометри са течностима                                            | 9         |
| 2.1.2 Клипни манометри                                                   | 10        |
| <b>2.2. Динамика манометара са течностима</b>                            | <b>13</b> |
| <b>2.3. Еластични претварачи за мерење притиска</b>                      | <b>15</b> |
| 2.3.1 Бурдонова цев                                                      | 15        |
| 2.3.2 Мембране                                                           | 16        |
| <b>2.4 Еластични манометри са електричним излазним сигналом</b>          | <b>17</b> |
| 2.4.1 Мерне траке                                                        | 17        |
| 2.4.2 Пиезоелектрични претварачи за динамичка мерења притиска            | 19        |
| <b>2.5 Мерење врло високи притисака уз помоћ<br/>отпорних претварача</b> | <b>20</b> |
| <b>2.6 Мерење апсолутно ниских притисака – вакуума</b>                   | <b>21</b> |
| 2.6.1 Меклодов вакуумметар                                               | 22        |
| 2.6.2 Термички вакуумметри                                               | 23        |
| 2.6.3 Јонизациони вакуумметри                                            | 24        |
| <b>3.0 Сензори притиска</b>                                              | <b>25</b> |
| <b>3.1 Подела сензора притисака</b>                                      | <b>25</b> |
| <b>4.0 Закључак</b>                                                      | <b>30</b> |
| <b>Литература</b>                                                        | <b>31</b> |

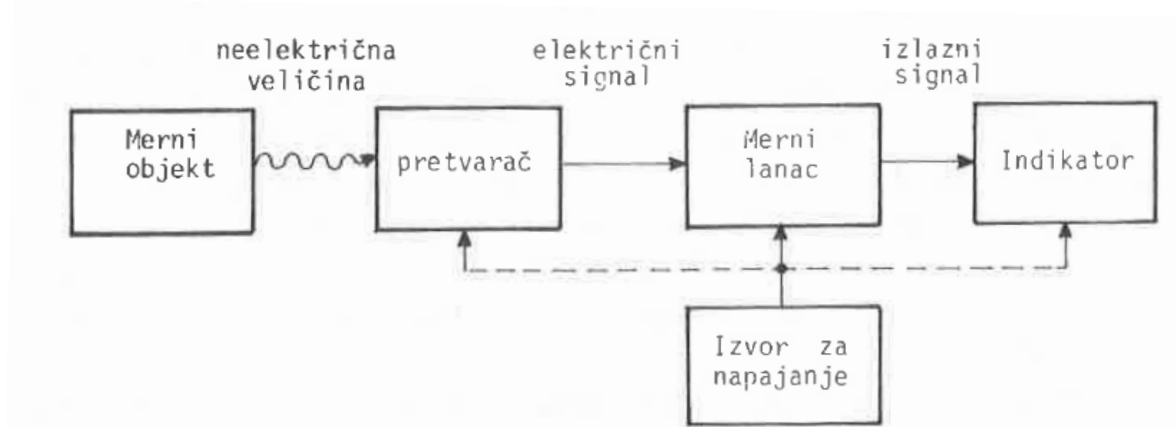
## 1.0 Увод

Мерење неелектричних величина као што су температура, притисак, сила, вибрације, проток флуида и других има велики значај у научној и техничкој пракси, а посебно у индустрији. Међу различитим мерним методама које се данас примењују највећи значај имају мерења електричним путем. Инструменте за електрично мерење неелектричних величина карактеришу особине, као што су висока тачност, брзо и једноставно читавање мерних резултата и релативно мали утицај спољашњих ометајућих фактора на рад инструмената. Једна од највећих предности електричних метода у односу на механичке мерне методе састоји се у томе што се електрични сигнали могу пренети на практично произвољне удаљености без већег утицаја на тачност.

Блок шема типичног уређаја за мерење неелектричних величина електричним путем приказана је на слици I.1. Основни делови уређаја су петварац, коло или систем за пренос и прилагођавање мерног сигнала тзв. мерни ланац, индикатор који служи за читавање резултата, и извор за напајање мерног уређаја. Уз помоћ претварача се врши трансформација мерне неелектричне величине у пропорционални електрични сигнал. Овај сигнал има обично малу енергију и у таквом облику је непогодан за директно регистровање уз помоћ уобичајених индикатора. Мерни ланац обавља различите модификације електричног сигнала претварача. Ове модификације могу да буду једноставне као на пример, појачање напона или снаге, претварање промене отпорности, капацитивности или индуктивности у промену струје или напона. Међутим, мерни ланац може да обави и сложеније поступке обраде сигнала, као што су различите врсте модулације и демодулације у циљу преноса на даљину, конверзија сигнала из аналогног у дигитални облик и обрнуто.

Индикатор за читавање мерног сигнала може да буде аналогног или дигиталног типа. Његова скала се уместо у јединици струје или напона, обично обележава у јединицама мерене неелектричне величине. С тим у вези, код аналогног индикатора је пожељно, а код дигиталног неопходно, да излазни сигнал буде линеарна функција мерене величине.

Мерни уређај се напаја уз помоћ једносмерног или простопериодичног (ређе импулсног) напонског или струјног генератора. Једносмерни генератори се састоје из исправљачких кола, односно батерије и напонских или струјних стабилизатора. Наизменично напајање врши се уз помоћ разних електронских осцилатора или ређе, из градске мреже. Мерни уређај се напаја најчешће у оквиру мерног ланца. У неким случајевима се напаја и претварац, као на пример код Холовог и неких типова магнетнострикционих и електродинамичких претварача. Код дигиталних инструмената потребно је напајање индикатора што је приказано непрекиданим линијама (Слика I.1.).



**Слика 1.1. Блок шема инструмената за мерење неелектричних величина електричним путем**

Притисак је неелектрична величина чије се мерење, после температуре, најчешће среће у бројним областима, као што су индустрија, саобраћај, медицина, метеорологија и многим другим. Притисци се мере од високих притисака изнад  $10^{10}$  Pa, па до ултравакуума реда величине  $10^{-10}$  Pa. У овако широком опсегу користи се већи број мерних метода и типова претварача. Примарну важност имају апсолутна мерења где се притисак одређује по својој дефиницији као однос нормалне силе и површине, при чему се обе величине мере неком од апсолутних метода.

Прецизни апсолутни манометри, иако у принципу једноставни, представљају скупе инструменте применљиве за статичка мерења у лабораторијама, и то у главном као еталони за потребе калибрације. У области средњих и виших притисака, од апсолутних инструмената користе се манометри са течностима, клипне ваге и манометри са уроњеним звоном. За веома високе притиске реда  $10^9$  Pa као еталон се примењује инструмент са жичаним отпорним претварачем. У области нижег вакуума најважнији апсолутни инструмент је Меклодов вакуумметар.

У свакодневно техничкој пракси уместо апсолутних, користе се бројни претварачи једноставније конструкције, али мање тачности. Средњи и виши притисци најчешће се мере претварачима на бази еластичних деформација неких шупљих елемената (Бурдонова цев, анероиди) или пиезоелектричних претварача. У области нижих и средњих вакуума веома су распрострањени Пиранијеви вакуумметри са угрејаном металном жицом.

## 2.0 Апсолутне методе мерења средњих и виших притисака

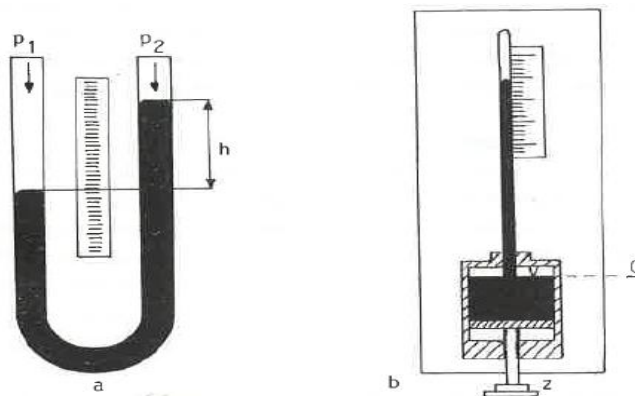
### 2.1 Манометри

#### 2.1.1 Манометри са течностима

Манометри са течностима се користе углавном за прецизна апсолутна мерења статичких притисака у лабораторијским условима, а такође и као еталонски инструмент за калибрацију других типова манометара. Два основна типа манометара са тачношћу приказивања су приказани на слици 2.1. Манометри са „U“ цеви приказани на слици 2.1 а показују разлику притисака изнад површине течности у краковима. У стационарном стању разлика притисака једнака је хидростатичком притиску течности где је  $\rho$  густина течности а  $g$  гравитационо убрзање.

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho \cdot g \cdot h \quad (2.1)$$

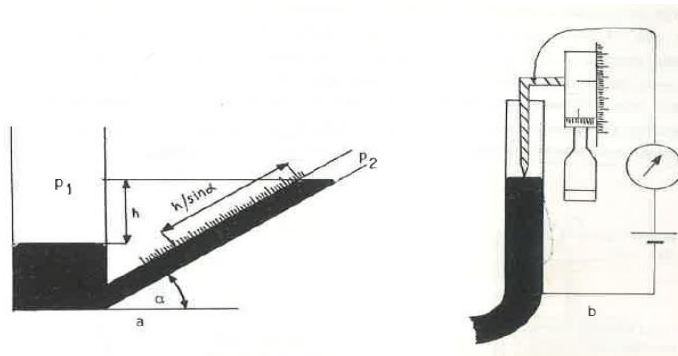
Уобичајене течности су вода, жива и алкохол. У пракси се као референтни притисак  $p_2$  најчешће користи атмосферски притисак. За прецизно мерење уз помоћ „U“ манометра потребно је испунити више захтева. Неопходно је познавати тачну вредност густине течности. Да би се отклониле термичке промене густине течности, потребно је да с манометар налази у термостатираној просторији. У противном случају потребно је вршити корекцију због температурских промена густине. Други значајан проблем представља прецизно очитавање разлика нивоа течности у оба крака.



Слика 2.1. Манометри са течношћу а) са „U“ цеви и б) барометар

Зато се примењују различити оптички методи који омогућавају одређивање нивоа са грешком од 0.02 mm. Ова очитавања су у пракси увек отежана склоношћу стуба течности ка осцилацијама, пошто се он понаша као динамички систем другог реда са врло малим пригушењем. Утицај капиларних појава се отклања коришћењем цеви већег пречника. Прецизни живини манометри имају цеви унутрашњег пречника између 1.5 и 5 cm, што значи да садрже знатне количине врло чисте живе. Потребно је такође познавати тачну вредност локалног земљиног убрзања.

На слици 2.1 б приказан је барометар за мерење атмосферског притиска, са једним краком и резервоаром. Пре читавања живе на скали подешава се завртњем  $z$  да жива у резервоару буде на нултом подеоку. Строго гледано, изнад живе у цеви барометра постоји и притисак живине паре, али се он код уобичајених мерења атмосферског притиска занемарује.



**Слика 2.2. а) Манометар са нагнутиим краком, б) одређивање нивоа живе код микро манометра методом електричног контакта**

Користи се више модификација основних типова манометара од којих је једна нагнути манометар приказан на слици 2.2 а. Један крак је нагнут под углом  $\alpha$  у односу на хоризонталу. Дужина стуба течности у нагнутом краку, која одговара разлици нивоа  $h$ , износи  $\frac{h}{\sin \alpha}$ . Дакле, услед нагиба добија се повећање осетљивости мерења  $\frac{1}{\sin \alpha}$  пута у односу на манометар са усправним крацима.

Мерење врло малих разлика притисака врши се уз помоћ тзв. микроманометара. То су манометри усправног или нагнутог типа снабдени прецизним оптичким или електричним уређајима за читавање нивоа течности. На слици 2.2 б приказан је један крак микроманометра код кога се ниво живе одређује методом електричног контакта. Изнад живе се ставља електрода која се помера микрометром, док се не успостави електрични контакт између електроде и живе, што се региструје омметром. Грешка при читавању нивоа износи мање од 0.01 mm.

Живиним манометрима се могу мерити притисци до око  $5 \cdot 10^6$  Pa (50 bar). Код таквих уређаја стуб живе износи читавих 40 m. Уређај се налази у торњу специјално грађеног за ту намену. Еталонски манометар за високе притиске има један крак и резервоар за живу, слично барометру.

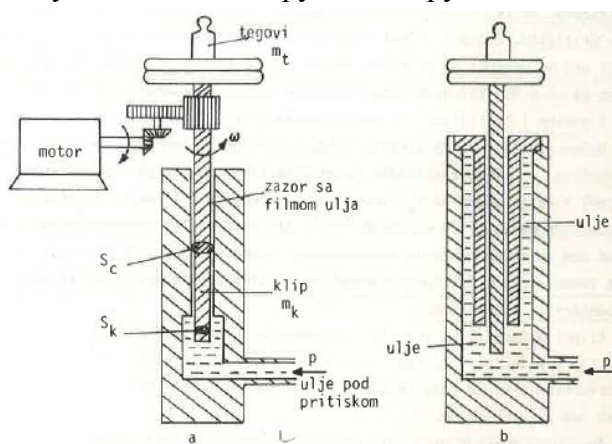
## 2.1.2 Клипни манометри

Клипни манометри су прецизни уређаји за апсолутно мерење притиска који у поређењу са живиним манометрима имају знатно већи опсег, једноставнији поступак мерења и лакше одржавање. Шема клипног манометра је приказана на слици 2.3. Његови основни делови су вертикални цилиндар избушен у масивном металном блоку и клип масе  $m_k$  на кога се могу поставити тегови  $m_t$ . Као радне течности користе се

специјална безкиселинска уља. Уље под притиском  $p$  делује на доњи базис клипа површине  $S_k$  силом  $F = S_k \cdot p$ . Овој сили се супротставља тежина клипа и тегова, као и сила услед ваздушног притиска  $p_a$ . Уколико је збир свих пометнутих сила једнак нули, клип ће лебдети у равнотежном положају при коме важи израз:

$$p = \frac{g(m_k + m_t)}{S_k} + p_a \quad (2.2)$$

Пошто се све величине на десној страни једначине (2.2) могу измерити уз помоћ основних величина – масе, дужине и времена, то значи да је мерење притиска клипном вагом апсолутно мерење, тј. клипни манометар се може користити независно, без претходног еталонирања уз помоћ неког другог инструмента.



**Слика 2.3. Клипни манометар, а) са обичним цилиндром, б) манометар са компензацијом еластичног ширења цилиндра**

Клипни манометри високе тачности морају да испуњавају већи број услова. Пре свега клип и цилиндар морају да буду савршеног кружног пресека са врло малим зазором. Код савремених уређаја зазор између клипа и цилиндра износи свега 1-2  $\mu\text{m}$ , при чему је површина клипа 2  $\text{cm}^2$  или мање. Губитак уља кроз овако мале зазоре се може занемарити. Статичко трење цилиндра и клипа смањује се тако што се врши лагана ротација клипа, било ручно, било уз помоћ мотора. При томе окретање не сме да утиче на померање клипа у вертикалном правцу.

У прецизној анализи рада клипног манометра узима се у обзир утицај филма течности у зазору клипа и цилиндра. Услед кретања на горе филм течности изазива додатну вертикалну силу услед вискозног трења, која тежи да подигне клип. Ова појава се може узети у обзир уколико се уместо стварне површине клипа  $S_k$  у једначину (2.2) замени ефективна површина клипа  $S_e$ . Теоријска рачунања, као и експерименти показују да је ефективна површина једнака средњој површини цилиндра и клипа.

$$S_e = \frac{S_k + S_c}{2} \quad (2.3)$$

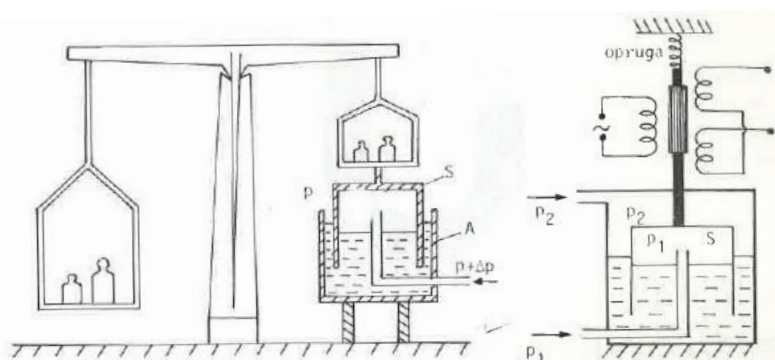
При повећању притиска долази до еластичног ширења цилиндра, тј. до пораста зазора. На тај начин и ефективни притисак клипа, а тиме и осетљивост, расту са притиском. Описани ефект еластичне деформације може се делимично компензовати

уколико се омогући да притисак делује на обе стране цилиндра, као што је приказано на слици 2.3 б. Код овог типа манометра јавља се супротни ефекат, тј. ефективни пресек и осетљивост се нешто смањују са притиском.

Услед температурског ширења клипа и цилиндра долази до повећања ефективне површине  $S_e$ . Клип и цилиндар су направљени од исте врсте челика па температурски коефицијент ширења површине  $S_e$  износи  $2\alpha$ , при чему је  $\alpha$  линеарни термички коефицијент. За челик је  $2\alpha = 2.2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , што представља вредност која је за око један ред величине мања од запреминског термичког коефицијента живе. То значи да температура код клипних манометара изазива знатно мање грешке него код манометара са течностима.

Клипни манометри се користе за мерење притиска гасова, при чему је конструкција у принципу иста као и у случају течности. Мерење притиска мањих од атмосферског врши се када је део уређаја са теговима у посуди из које је евакуисан гас вакуум пумпом.

Апсолутно мерење притиска блиских атмосферском врши се такође манометром са уроњеним звоном, слика 2.4 а.



**Слика 2.4. а) Апсолутно мерење притиска на принципу уроњеног звона, б) примена уроњеног звона за мерење разлика притисака уз помоћ индуктивног претварача**

Манометар се састоји од равнокраке ваге за чији је један крај причвршћен цилиндар чија је отворена страна делимично потопљена у течност. Течност се налази у суду А који стоји на подлози. Вага се доводи у равнотежно стање када је притисак у звону једнак атмосферском. При промени притиска, на дно цилиндра делује сила  $F = S \cdot \Delta p$ , где је  $S$  позната површина базиса, а  $\Delta p$  промена притиска. Сила  $F$ , односно промена притиска  $\Delta p$  мере се додавањем тегова којима се вага поново доводи у равнотежно стање. Мерни принцип је дакле, практично исти као и код клипног манометра.

Манометар са звоном има мале грешке услед температуре пошто термичко ширење течности не уиче на мерење. Мерна несигурност до  $2 \cdot 10^3 \text{ Pa}$  износи око 0.1 Pa.

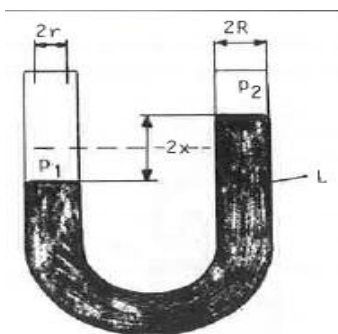
Манометри на принципу уроњеног звона се користе и у индустријским мерењима, с тим што се померање звона, услед разлике притисака, мери сензором померања као што је индуктивни претварач приказан на слици 2.4 б.

## 2.2. Динамика манометара са течностима

Анализа динамичког понашања манометара са течностима дата је за случај „U“ цеви константног пречника приказаног на слици 2.5. За време кретања стуба течности постоји динамичка равнотежа сила које делују на течност, што се изражава једначином:

$$F_p = F_g + F_{tr} + F_i \quad (2.4)$$

где је  $F_p$  сила услед разлике притисака  $p_1$ - $p_2$ ,  $F_g$  гравитациона сила услед разлике течности у крацима,  $F_{tr}$  сила вискозног трења између течности и зидова цеви и  $F_i$  инерцијална сила услед убрзаног кретања течности.



Слика 2.5. Модел за динамичку анализу манометара са течностима

Компоненте  $F_p$  и  $F_g$  из једначине (2.4) су дате изразима:

$$F_p = \pi R^2 (p_1 - p_2) \quad (2.5)$$

$$F_g = \pi R^2 \rho g 2x \quad (2.6)$$

Где је  $x$  померање стуба течности у односу на равнотежно стање када је  $p_1 = p_2$ . При израчунавању друге две компоненте  $F_i$  и  $F_{tr}$  уводи се претпоставка да се течност креће ламинарно и да стуб има облик цилиндра пречника  $2R$  и ефективне дужине  $L$ . Применом Њутновог закона на кретање течности кроз цев добија се израз за параболичну зависност брзине у функцији растојања слоја течности од центра:

$$v(r) = v_c \cdot \left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right) \quad (2.7)$$

Где је  $v_c$  брзина течности у оси цеви.

Средња брзина течности дата је изразом :

$$v_s = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R v(r) 2\pi r dr = \frac{v_c}{2} \quad (2.8)$$

Да би се израчунала кинетичка енергија стуба течности при ламинарном кретању, посматра се шупљи цилиндар полупречника  $r$ , дебљине  $dr$  и дужине  $L$ . Маса течности која се налази у овом танком шупљем цилиндру износи  $dm = \rho 2\pi r L dr$ , док кинетичка енергија овог дела течности износи:

$$dE_k = \frac{1}{2} v^2(r) dm = \pi \rho v_c^2 \left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right)^2 L r dr \quad (2.9)$$

Интеграцијом израза (2.9) се добија укупна кинетичка енергија:

$$E_k = \int_0^R dE_k = \frac{m}{6} v_c^2 = \frac{4m}{3} \frac{v_s^2}{2} \quad (2.10)$$

Где је  $m = \rho \pi R^2 L$  укупна маса течности. Из израза (2.10) се види да се при ламинарном кретању стуб течности у динамичком погледу може сматрати да се креће средњом брзином  $v_s$ , при чему је еквивалентна маса  $m_e$  већа од стварне масе  $4/3$  пута, тј.  $m_e = 4m/3$ . Дакле, израз за кинетичку енергију (2.10) може да се напише у уобичајеном облику:

$$E_k = \frac{m}{6} v_s^2 = \frac{m_e v_s^2}{2}$$

На основу овог, инерцијална сила из израза (2.4) је дата изразом:

$$F_i = m_s \dot{v}_s = \frac{4}{3} \pi \rho R^2 L \ddot{x} \quad (2.11)$$

Где је  $\ddot{x}$  убрзање стуба течности. Сила трења се израчунава из Њутновог закона:

$$F_{tr} = -\eta S \frac{dv(r)}{dr} \quad (2.12)$$

где је  $\eta$  коефицијент вискозности, а  $S = 2\pi RL$  површина стуба течности. Заменом израза (2.7) у релацији (2.12) за силу трења се добија:

$$F_{tr} = 4\pi\eta L v_c = 8\pi\eta L \dot{x} \quad (2.13)$$

Уколико се у једначину динамичке равнотеже сила (2.4) уведу изрази (2.5), (2.6), (2.11) и (2.13), добија се диференцијална једначина кретања течности у облику:

$$\ddot{x} + 2\xi\omega_s \dot{x} + \omega_s x = \frac{3}{4} \frac{p_1 - p_2}{\rho L} \quad (2.14)$$

где је:

$$\omega_s = \sqrt{\frac{3g}{2L}} \quad (2.15)$$

и

$$\xi = \frac{\eta}{\rho R^2} \sqrt{\frac{6L}{g}} \quad (2.16)$$

На тај начин одређени су динамички параметри стуба течности манометра као система другог реда.

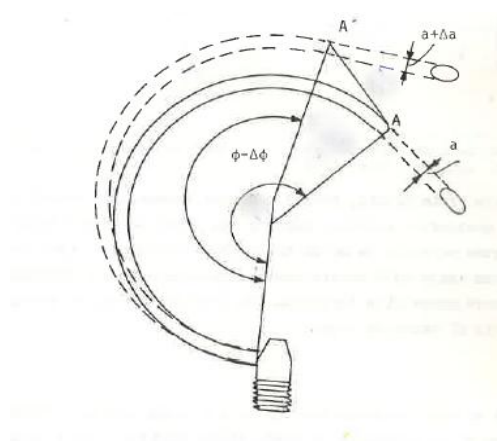
Карактеристика манометара са течностима је врло мали коефицијент пригушења  $\xi$ , што као последицу има велики број пригушених осцилација при бржим променама притисака. На пример за живин манометар полупречника  $R=0.5$  cm и дужине  $L=1$  m, коефицијент  $\xi$  износи само око 0.01. Све ово указује да су манометри са течностима погодни само за статичка, а не и за динамичка мерења притиска.

## 2.3. Еластични претварачи за мерење притиска

За практична мерења притиска као у статичким, тако и у динамичким условима, најчешће се користе претварачи на принципу еластичних деформација танких металних елемената. Еластични елеменат може да покреће механизам са казальком којом се читава притисак. Код манометара у телеметрији, аутоматици и електричним мерним инструментима, деформација еластичног елемента се претвара у електрични сигнал погодним електричним сензором померања. Најраспрострањенији еластични претварачи су Бурдонова цев, мембране, шупљи танки цилиндри, итд. Ови претварачи могу да се користе за мерење како малих, тако и врло високих притисака који достижу  $7 \cdot 10^8$  Pa (8000 bar). Сопствена учестаност неких еластичних претварача достиже више десетина kHz, што их чини врло погодним за мерење динамичких промена притисака. Еластични претварачи, оптерећени изнад дозвољених граница, трајно мењају своје карактеристике о чему се у експлоатацији мора водити рачуна.

### 2.3.1 Бурдонова цев

Бурдонова цев, патентирана 1849. године, представља најстарији и вероватно још увек најчешће коришћени еластични претварач за мерење притиска. Основни тип Бурдонове цеви „С“ типа приказан је на слици 2.5. Попречни пресек цеви је спљоштеног или елипсастог облика. Под дејством разлике унутрашњег и спољашњег притиска пресек цеви тежи да добије облик близак кружном. Анализа деформације Бурдонове цеви је врло компликована и у литератури се обично даје само у апроксимативном облику. Показује се да краћа оса  $a$ , елипсастог попречног пресека и угао цеви  $\phi$  имају релативне деформације линеарно сразмерне разлици унутрашњег и спољашњег притиска.

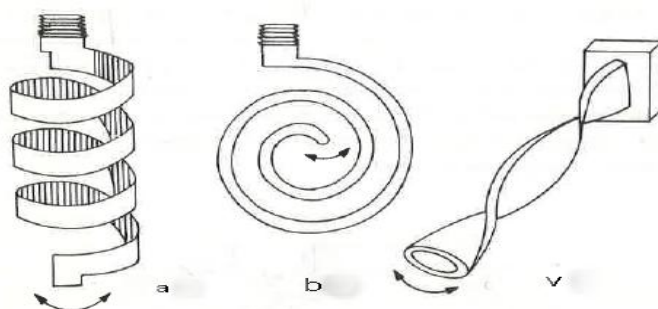


Слика 2.6. Бурдонова цев „С“ типа

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta \Phi}{\Phi} = \text{Const} \cdot \Delta p \quad (2.17)$$

Као излазна величина Бурдонове цеви користи се померање слободног краја  $\Delta l = \overline{AA'}$  које је такође сразмерно разлици притисака  $\Delta p$ .

Осетљивост Бурдонове цеви расте са повећањем угла увијања  $\gamma$ . С тим у вези граде се цеви хеликоидалног, спиралног или увијеног облика, што је приказано на слици 2.7, чији угао увијања износи 1 до 10 пуних обртаја. Осетљивост се такође повећава са а) смањењем дебљине цеви, б) повећањем спљоштености попречног пресека, в) смањењем радијуса кривине и г) смањењем модула еластичности. Као материјали користе се разне врсте челика, бронзе и других легура. Ови материјали треба да имају што мање унутрашње губитке односно што мањи механички хистерезис,

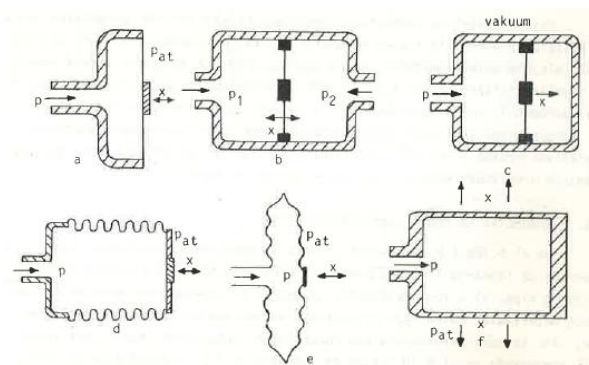


Слика 2.7. Различити облици Бурдонових цеви

који се иначе директо одражава на мерну несигурност претварача. Цеви са добрим еластичним својствима имају мали коефицијент пригушења, а тиме и склоност ка осцилацијама изазваних механичким импулсима. Осцилације се могу пригушити стављањем цеви у суд са силиконским уљем.

### 2.3.2 Мембране

Претварачи на бази мембрана се користе у широком опсегу притисака, почев од нижег вакуума па до притисака преко  $10^8$  Pa (1000 bar). Сила услед разлике притисака са обе стране мембране изједначава се са еластичним силама мембране изазивајући деформацију сразмерну разлици притисака. У општем случају деформација представља нелинеарну функцију притиска. Међутим, претварачи се користе у ограниченом опсегу где им је карактеристика приближни линеарна, односно где нелинеарност не прелази границе 1 до 5 %.



Слика 2.8. Различите врсте електричних претварача

Претварачи за средње и високе притиске користе атмосферски притисак као референтни. При мерењу врло ниских притисака као референтни притисак се узима вакуум. Наборане мембране дају веће излазно померање од равних мембрана. Један од најчешће коришћених претварача са набораном мембраном је анероид. За мерење високих притисака користе се и претварачи облика шупљег цилиндра од танког челичног лима чији се полупречник повећава са притиском.

## 2.4 Еластични манометри са електричним излазним сигналом

Еластичне деформације манометара могу се претворити у електрични сигнал великим бројем претварача померања као што су потенциометри, индуктивни и капацитивни претварачи, мерене траке, пиезоелектрични, оптоелектронски, као и други претварачи померања. Овакви претварачи се користе у електричним мерним инструментима и у уређајима за аутоматску контролу у индустрији.

### 2.4.1 Мерне траке

За претварање деформација мембрана у електрични сигнал користе се такође лепљене и слободне мерне траке. На слици 2.9 приказана је мембрана деформисана притиском. У мембрани се јављају нормалне компоненте напрезања – радијална  $\sigma_r$  и тангентијална  $\sigma_t$ .

$$\begin{aligned}\sigma_r &= pA_1(A_2 - A_3(\frac{r}{R})^2) \\ \sigma_t &= pA_1(A_2 - A_4(\frac{r}{R})^2)\end{aligned}\quad (2.18)$$

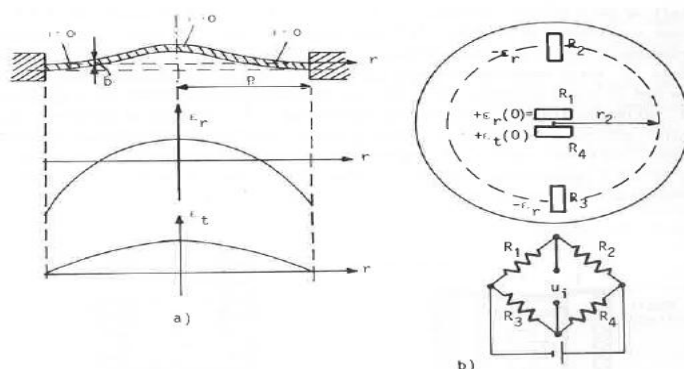
при чему су  $A_1 = \frac{3}{8} \frac{R^2 \mu}{b^2}$ ,  $A_2 = \frac{1}{\mu} + 1$ ,  $A_3 = \frac{3}{\mu} + 1$ ,  $A_4 = \frac{1}{\mu} + 3$ , где је  $R$  полупречник мембране,  $b$  дебљина, а  $\mu$  Поасонов коефицијент. Применом релације за двоосно напрезање, радијална и тангентијална деформација постају:

$$\begin{aligned}\varepsilon_r &= A_1(1 - 3\frac{r^2}{R^2})(1 - \mu^2)p \\ \varepsilon_t &= A_1(1 - \frac{r^2}{R^2})(1 - \mu^2)p\end{aligned}\quad (2.19)$$

Ове деформације су приказане на слици 2.9 а. Тангентијална деформација је по обиму нула и расте идући ка центру. У центру обе деформације су једнаке и износе  $\varepsilon_r(0) = \varepsilon_t(0) = A_1(1 - \mu^2)p$ .

На месту  $r_1 = \frac{R}{\sqrt{3}}$  радијална деформација је нула, а на растојању  $r_2 = \frac{R\sqrt{6}}{3}$  износи  $\varepsilon_r(r_2) = -\varepsilon_r(0)$ . Дакле, уколико се траке лепе у центру и радијално на месту  $r_2$ , њихове деформације су једнаке, а супротног су знака. Ове траке се прикључују као

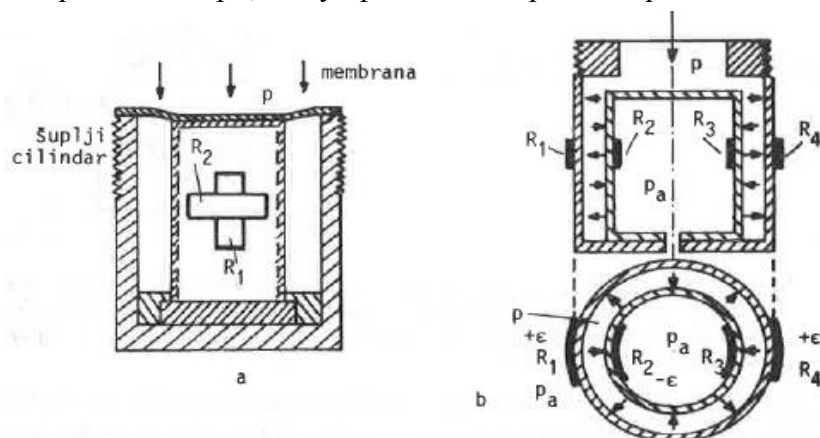
диференцијалне гране моста. На слици 2.9 б је приказана мембрана са четири траке и одговарајући мост.



**Слика 2.9. Мерне траке као сензори за мерење притисака уз помоћ мембране, а) пресек мембране, радијална и тангенцијална деформација мембране, б) начин лепљења трака и њиховог спајања у мост**

Еластична мембрана се користи и као помоћни претварач који делује на неки други еластични објект – конзолу или штап, на којима су залепљене мерне траке. Услед силе мембране, дужина шупљег цилиндра се смањује док се полупречник повећава, што проузрокује негативну и позитивну промену отпорности трака  $R_1$  и  $R_2$ , респективно.

Као електрични претварач за мерење притиска уз помоћ мерних трака користи се такође и двоструки шупљи цилиндар са танким зидовима приказан на слици 2.9 б. Притисак који се мери делује у простору између унутрашњег и спољашњег цилиндра. Притисак у унутрашњем цилиндру је једнак атмосферском, што значи да се пречник унутрашњег цилиндра смањује. Траке  $R_2$  и  $R_3$ , залепљене са унутрашње стране се скраћују тј. имају негативне промене отпорности. Насупрот томе, спољашњи цилиндар се под утицајем притиска шири, па су промене отпорности трака  $R_1$  и  $R_4$  позитивне.



**Слика 2.9. Еластични претварачи за мерење притиска помоћу мерних трака, а) са мембраном и шупљим цилиндром са тракама, б) двоструки шупљи цилиндар**

Дакле, од трака залепљених на двоструком цилиндру може да се формира мост са четири активне гране, чији је излазни напон линеарно пропорционалан притиску. Претварачи приказани на слици 2.10 одликују се високом резонантном учестаношћу од преко 20 Hz и могућношћу мерења врло високих притисака до неколико хиљада бара. Претварачи имају малу осетљивост на потресе и убрзања.

## 2.4.2 Пиезоелектрични претварачи за динамичка мерења притиска

Полазећи од основног израза за пиезоелектрични ефекат види се да се при дејству притиска на пиезоелектричну плочицу добија количина електрицитета

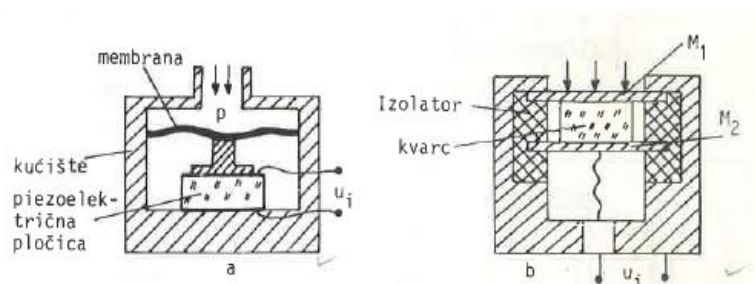
$$Q = d_{11}F = d_{11}pS \quad (2.20)$$

Где је  $S$  површина претварача. Дакле, индуктивна количина електрицитета је директно сразмерна притиску и површини. Излазни напон претварача при тренутној промени притиска амплитуде  $p$  износи:

$$u_i = \frac{Q}{C} = d_{11} \frac{pd}{\epsilon_0 \epsilon_r} = g_{11}pd \quad (2.21)$$

где је  $d$  дебљина, а  $\epsilon_r$  релативна диелектрична константа плочице. Осетљивост претварача, дефинисана као  $\frac{Q}{p} = d_{11}S$  и  $\frac{u_i}{p} = g_{11}d$ , зависи од површине, односно дебљине, респективно. Међутим, овај закључак изведен на основу (2.20) и (2.21) није директно применљив на практичне пиезоелектричне претвараче. Наиме, код ових претварача притисак по правилу делује на плочицу посредно, преко металне мембране, слика 2.10 а. На тај начин се врши механичка заштита и отклања штетни утицај агресивних флуида на пиезоелектричну плочицу. Међутим, стварни притисак којим мембрана делује на претварач зависи од крутости мембране и других конструкционих фактора. Погодним избором мембране и плочице остварује се широки опсег, почев од притисака блиских атмосферским па до око 1000 bara.

Пиезоелектричне претвараче за мерење притиска одликују мале димензије, висока резонантна учестаност до стотинак kHz, што их чини погодним за динамичка мерења при импулсним променама притиска, као на пример при експлозијама или ударним таласима у гасовима. Као материјали се најчешће користе кварц, керамика на бази баријум титаната и олово цирконата.



Слика 2.10. а) Пиезоелектрични претварач притиска, б) претварач са компензацијом утицаја убрзања

Код пиезоелектричних претварача за мерење притиска који раде у условима великих вибрација, поставља се проблем осетљивости на убрзање. Наиме, мембрана и други елементи у контакту са плочицом, при убрзаном кретању делује одређеном силом на плочицу изазивајући сигнал сметње. У ту сврху предузимају се посебне конструкционе мере које смањују утицај убрзања на мерење притиска. Једно од таквих решења приказано је на слици 2.10 б. Пиезоелектрична плочица је преднапрегнута између две једнаке мембране  $M_1$  и  $M_2$ . На мембрану  $M_1$  делује спољашњи притисак, док се мембрана  $M_2$  користи за компензацију утицаја вибрација. Наиме, при вибрацијама обе мембране осцилују у фази не изазивајући додатно напрезање пиезоелектричне плочице. Применом компензације мембране  $M_2$  смањује се осетљивост претварача око два пута у односу када се плочица ослања на круту подлогу.

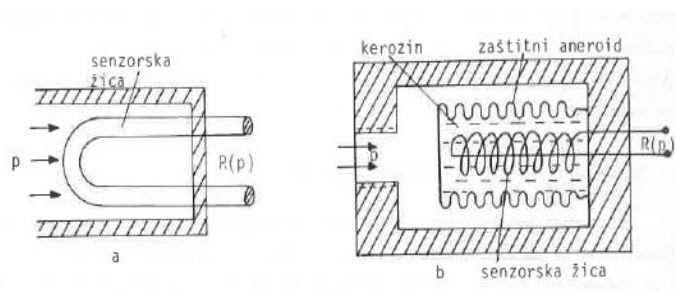
Комерцијални претварачи за мерење малих притисака обично користе кристал олово цирконата, који има велику осетљивост па се може остварити пуни опсег при  $i$  амплитуди притиска од 10 Ра. Претварачи од овог материјала се примењују и до неколико десетина бара. Кварц се користи у опсегу од 1 бара па до високих притисака од око 1000 бара. Резонантна учестаност кварцних претварача је око 100 kHz или више, док је време успостављања предње ивице импулса око 1  $\mu$ s када је постигнута компензација убрзања. Пиезоелектрични претварачи се користе и за мерење притиска при високим температурама, при чему се врши водено хлађење.

Доња гранична учестаност притиска зависи од карактеристика примењених електронских појачавача. Најбоље перформансе се остварују уз помоћ појачавача наелектрисања са којима се пиезоелектрични могу користити и за скоро статичко мерење притиска.

## 2.5 Мерење врло високих притисака уз помоћ отпорних претварача

За мерење притисака изнад  $10^8$  Ра од уобичајених еластичних претварача користе се разне модификације Бурдонове цеви. Да би цев издржала велика напрезања њени зидови морају да буду дебели и скоро округлог облика. Овакве Бурдонове цеви имају велику крутост, односно имају малу осетљивост. Ради повећања осетљивости усваја се већа дужина односно број намотаја. На тај начин се мере притисци до око 7000 бара. За прецизна апсолутна мерења притисака изнад  $10^8$  Ра користе се отпорни жичани претварачи од легура мангана и злато-хром. Принципијелна шема жичаног претварача за мерење високих притисака приказана је на слици 2.11 а. Претварач се састоји од жице на чији омотач делује мерени притисак. На бази се цилиндра – жице који су изван посуде делује атмосферски притисак. Жица је изложена двоосном напрезању дуж  $x$  и  $y$  осе, док је напрезање у правцу  $z$  осе, тј. дуж осе цилиндра једнака нули. Напрезања износе:

$$\sigma_x = \sigma_y = -p, \sigma_z = 0 \quad (2.22)$$



**Слика 2.11. а) Принципа рада претварача за мерење врло високих притисака, б) упрошћен изглед претварача**

Настале деформације при двоосном напрезању су:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \frac{\Delta r}{r} = -\frac{p(1-\mu)}{E_y}, \quad (2.23)$$

Оба напрезања дуж x и y осе проузрокују повећање дужине по z осе:

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta l}{l} = -\mu \frac{\sigma_x + \sigma_y}{E_y} = \frac{2\mu p}{E_y}, \quad (2.24)$$

Релативна промена отпорности деформисане жице износи:

$$\frac{\Delta R}{R} = -\frac{2\Delta r}{r} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta \rho}{\rho}, \quad (2.25)$$

Заменом (2.23) и (2.24) у (2.25) добија се:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{2p}{E_y} + \frac{\Delta \rho}{\rho}, \quad (2.26a)$$

Други члан израза (2.26a) линеарно је сразмеран притиску, па је промена отпорности:

$$\frac{\Delta R}{R} = Sp, \quad (2.26b)$$

где је  $S = \frac{2}{E_y} + \frac{\Delta \rho}{\rho p}$  коефицијент осетљивости.

Изглед претварача у упрошћеном облику приказан је на слици 2.11 б. Сензорски отпорна жица се налази у заштитном анероиду напуњеном керозином, чиме се жица електрично изолује и заштићује од корозивног дејства флуида у коме се мерење врши. Анероид има танке и еластичне зидове, тако да је притисак у њему једнак притиску који се мери.

## 2.6 Мерење апсолутно ниских притисака - вакуума

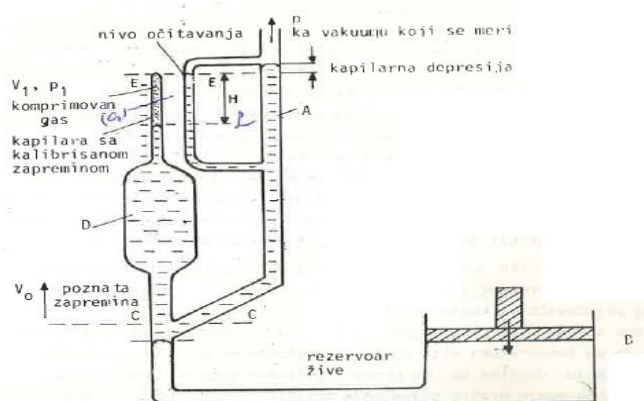
Описани манометри ограничени су у области ниског притиска смањењем своје осетљивости. Бурдонове цеви могу да се користе до  $10^3$  Pa, док се уз помоћ анероидних кутија остварују мерења до 10 Pa. Од еластичних претварача најнижу доњу границу имају танке мембране којима се досежу апсолутни притисци од 0.1 Pa.

Живин манометар, који у домену средњих притисака представља један од еталона, има доњу границу до око 10 Pa, чему одговара висина стуба реда 0.1 mm.

Клипни манометри и манометри са уроњеним звоном могу такође да мере притиске гасова ниже од атмосферских, под условом ако се у околном простору оствари вакуум. Међутим, притисак у том евакуисаном простору мора такође да буде познат, што значи да је неопходно да се примени и неки други вакуумметар.

### 2.6.1 Меклодов вакуумметар

Као еталон за апсолутно мерење притисака у опсегу  $10 \text{ Pa}$  до  $10^{-2} \text{ Pa}$  користи се Меклодов вакуумметар који представља модификовани живин манометар. У односу на обичне живине манометре Меклодов вакуумметар има већу осетљивост што се остварује компримовањем гаса чији се притисак мери. Шематски приказ Меклодовог вакуумметра дат је на слици 2.12



Слика 2.12. Меклодов вакуумметар

Комора у којој се мери притисак прикључје се на отвор цеви А. У почетном стању највећи део живе налази се у резервоару В који је затворен покретним клипом. Уз помоћ покретног клипа може да се потискује жива у леви део вакуумметра. Потискивање живе може да се оствари уз помоћ атмосферског притиска уколико се клип замени славином за упуштање ваздуха у горњи део резервоара. У тренутку када жива, чији ниво у левом делу расте, достигне ниво С-С, цев D постаје одвојена од мерног притиска и при даљем подизању живе долази до компримовања ваздуха затвореног у цеви D. Због тога је подизање живе у цеви А брже него у цеви D. У тренутку када жива у цеви А достигне ниво Е-Е, читава се разлика нивоа живе H. При томе се у цеви D жива налази у суженом каналу који је калибрисан по запремини. Укупна запремина цеви D је позната и износи  $V_0$ , док је запремина компримованог гаса  $V_1 = HS$ , где је S попречни пресек суженог дела. За притисак компримованог дела гаса  $p_1$  и мерени притисак  $p$ , важи да је  $p_1 = p + \rho g H$ . Пошто из Бојл – Мариотовог закона следи да је  $p V_0 = p_1 V_1 = p_1 HS$ , добија се:

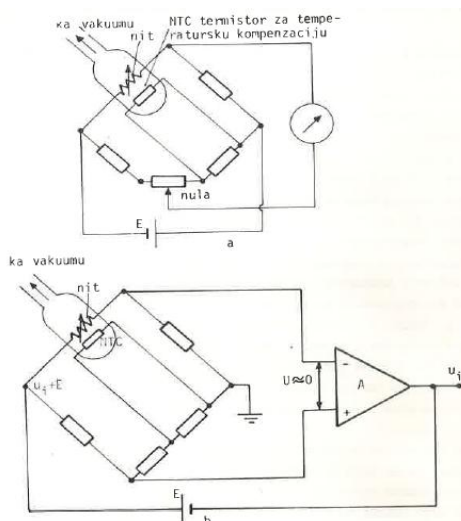
$$p = \frac{V_1 \rho g H}{V_0 - V_1} \approx \text{const.}, \quad (2.27)$$

јер је  $V_0 \gg V_1$ . Мерење притиска Меклодовим манометром је апсолутно мерење јер се сви наведени параметри добијају мерењем основних величина: дужине, масе и времена.

Релативна грешка Меклодових вакуумметара креће се од око 0.1% при 10 Па до око 1% при  $10^{-2}$  Па. Уколико се у разређеном ваздуху налазе паре уља или воде при компресији у цеви D долази до њихове делимичне кондензације што представља један од основних узрока грешака Меклодових вакуумметара.

## 2.6.2 Термички вакуумметри

При притисцима блиским атмосферским, тело загрејано на  $(100-200)^\circ\text{C}$  одаје топлоту у мирном ваздуху претежно провођењем и струјањем. Пренос топлоте провођењем практично не зависи од притиска све док се притисак не смањи до око  $10^3$  Па када долази до промене механизма одавања топлоте. Пренос топлоте конвекцијом постаје занемарљиво мали, док коефицијент топлотне проводности опада са смањивањем притиска. Дакле, брзина одвођења топлоте при смањивању притиска опада. Уколико се посматра жица која се загрева сталном струјом, њена температура, а тиме и отпорност, расте упоредо са смањивањем притиска. Ово чини физичку основу рада термичких вакуумметара од којих су најпознатији Пиранијев и вакуумметар са термопаром. Смањење коефицијента топлотне проводности са опадањем притиска објашњава се повећањем дужине слободног пута молекула. За ваздух на  $15^\circ\text{C}$  дужина слободног пута молекула дата је формулом  $\lambda = 6.6 \cdot 10^{-3} / p$  [m], где је  $p$  притисак у Па. На пример, при  $p=1$  Па дужина слободног пута износи 0.66 cm, што је блиско полупречнику цеви у којој се налази угрејана нит за мерење притиска. Топлоту са жице на зидове цеви преносе молекули који полазећи од жице директно ударају у зидове без међумолекуларних судара у гасу. Отуда је брзина одвођења топлоте обрнуто сразмерна концентрацији молекула, односно притиску.



**Слика 2.13. а) Пиранијев вакуумметар са константним струјом, б) са константном температуром нити**

Елементарна шема Пиранијевог вакуумметра са константним струјом приказана је на слици 2.13 а. Претварач је угрејана волфрамска нит укључена у мост. Ради температурске компензације у супротну грану моста спојен је NTC термистор

паралелно са сталним отпорником  $R_2$ . NTC термистор, који има занемарљиво самозагревање, смештен је у вакууму у близини нити, тако да прати температурске промене околине. Због супротног температурског коефицијента отпорности термистора у односу на нит, долази до компензације утицаја температурских промена.

На слици 2.13 б, приказан је други тип Пиранијевог вакуумметра на принципу константне температуре угрејане нити. Мост се напаја излазним напонам диференцијалног појачавача са којим је на ред спојена батерија емс Е. Због негативне повратне спреге и великог појачања А, излазни напон појачавача се мења на тај начин да се температура одржава константном, при чему мост остаје у равнотежном стању. Уколико се, на пример, притисак смањи, температура нити тежи да порасте због мање брзине одвођења топлоте. Потенцијал на улазу појачавача са инверзијом се повећава, а тиме се смањује улазни напон  $u_i$ . На крају преказног процеса, услед мање струје загревања, температура жице остаје, практично, непромењена. Као мера притиска користи се излазни напон појачавача  $u_f$ . Вакуумметри са константном температуром имају сложенију конструкцију али им је осетљивост при вишим притисцима већа од вакуумметара са константном струјом.

### 2.6.3 Јонизациони вакуумметри

Испод границе  $10^{-2}$  Ра као еталони притиска користе се јонизациони вакуумметри. По својој конструкцији јонизациони вакуумметри подсећају на електронске цеви, триоду или магнетрон. Основни делови јонизационих вакуумметара су електронски извор са угрејаном или хладном катодом, електрода за убрзавање електрона и електрода за сакупљање позитивних јона. Електрода за убрзавање електрона налази се на позитивном напону од неколико стотина волти, чиме се добијају електрони довољне енергије да јонизују молекуле у разређеном гасу чији се притисак мери. Примарни електрони, као и електрони добијени јонизацијом, сакупљају се на позитивној електроди, док се позитивно наелектрисани молекули – јони, прикупљају на колекторској електроди постављеној на негативни напон од десетак волти. Струја позитивних јона је сразмерна концентрацији молекула гаса, односно притиску. Калибрација јонизационих вакуумметара се врши уз помоћ Меклодовог манометра у опсегу  $10^{-1}$  до  $10^{-2}$  Ра, где се оба инструмента могу применити. Карактеристика јонизационог вакуумметра у области нижих притисака је линеарна.

Јонизациони вакуумметри за врло ниске притиске користе поред електричног и магнетно поље, па се електрони уместо праволинијски, крећу по хеликоидалној путањи. Тиме се вишеструко продужава дужина прелета од катоде до аноде, па се повећава вероватноћа да на путу изврше јонизацију неког молекула гаса. Оваквим вакуумметрима достижу се екстремне границе од испод  $10^{-12}$  Ра. Још ниже границе могу се остварити уколико се јони, уместо на колекторску электроду, усмеравају на диоду електронског мултипликатора који има улогу појачавача јонске струје.

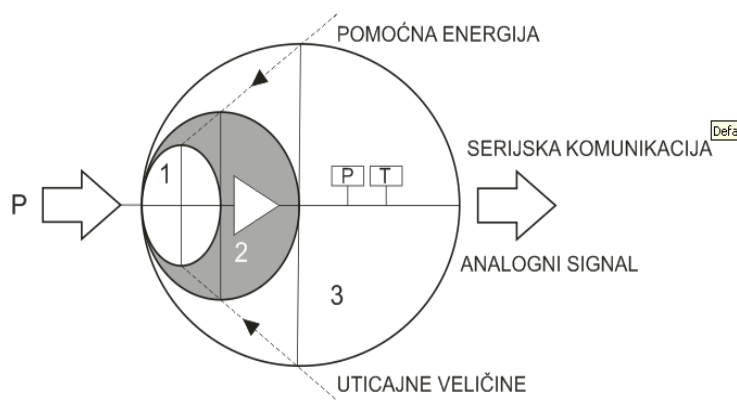
### 3.0 Сензори притиска

Класични сензори са Бурдоновом цеви или са мембраном су најчешће у употреби, јер одлично раде, али имају једну ману, због које се више не уграђују на важним мерним местима. Ходови претварачких елемената код њих износе од 1 до 3 милиметара, за разлику од деформација код модерних сензорских мерача притиска који не прелазе неколико микрона. Ови минимални помаци омогућују предности:

- велику брзину одзива (стандардно око 2 ms. ),
- високу линеарност,
- отпорност на преоптерећења и
- дуготрајност безотказног рада.

Принципи мерења притиска који се данас примењују, углавном фаворизују директно претварање физичке у електричну величину, а ово, у већини случајева, захтева извор помоћне енергије за сензор. При том треба водити рачуна о томе како да се пониште грешке мерења услед утицаја температуре, густине, паразитних електричних величина и других утицаја.

Уз претпоставку да су сви ти утицаји поништени, може се вршити обрада сигнала са сензора. На слици 3.1, део означен са 1 је сензор, а део означен са 2 је део који уз мало електронике проследи сигнал инструменту-трансмитуеру. Целина 3 на слици 3.1, представља финални део претварача, окренут кориснику који омогућава визуелно читавање и/или записивање притиска. Трансмитуер може да изврши конверзију сигнала у облик погодан за пренос на већу даљину (нпр. 0/4-20 mA) и A/D конверзију у дигиталне импулсе за серијску комуникацију.



Слика 3.1. Шематски приказ сензорских уређаја

### 3.1 Подела сензора притисака

Сензори притиска су главни делови уређаја за мерење притиска. Могу се поделити на два основна начина:

- према месту или средини у којој се користе и

- према принципу рада

Према средини у којој се користе деле се на:

- сензоре за индустријска мерења и
- сензоре за лабораторијска мерења.

Према принципу рада деле се на:

- сензоре за деформацију и
- сензоре за померања који раде на принципима:
  - пиезоелектричног ефекта,
  - компензације силе и
  - осталим принципима наведеним и за друга мерења.

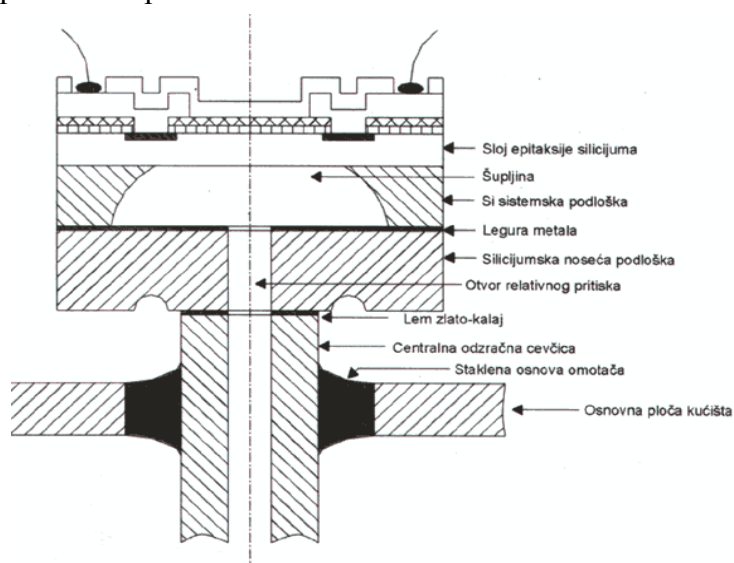
Најважнија особина сензора који треба да раде у индустријским условима је стабилан и дуготрајан безотказни рад уређаја, без неког посебног одржавња. Висока класа тачности у 90% случајева није примарна, тј. 1% грешке је сасвим довољно тачно. Од тога је значајније да уређај не буде прескуп. У индустријске сврхе се користе набројани сензори.

Претварачи деформација су:

1. Пиезоотпорни сензори
2. Сензори у облику металних трака
  - металне траке на фолији,
  - металне траке на танком филму,
  - металне траке на дебелом филму.

Претварачи померања су:

1. Сензори на принципу Холовог ефекта
2. Капацитивни сензори
3. Индуктивни сензори
4. Потенциометарски сензори



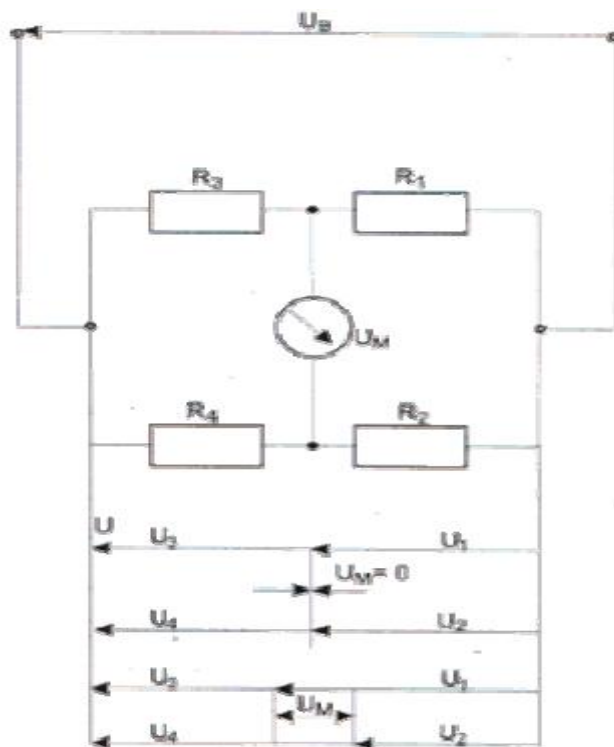
Слика 3.2. Основна шема сензора притиска

На слици 3.2 приказан је комплетан сензор притиска, са детаљним описом подсклопова сензора. Основни подсклоп је системска подлошка (вејфер). Она се добија тако што се Si монокристал исече на кришке, пазећи строго при томе на структуру и оријентацију кристала, а затим полира. Следеће је имплантација и чишћење у циљу формирања отпорног електронског Витстоновог моста. Кључна фаза је формирање мембранског Si епитаксијалног слоја, који се добија нагризањем или бушењем полиране површине системске подлошке. Електрични отпори се дифундирају у ивичну зону мембранског слоја, јер су ту највећа физичка оптерећења и излазни електрични сигнал.

Систем мора да има базу. Системска подлошка се прави од истог материјала и истих је димензија као и базна, а ове две спајају се уз помоћ специјалне металне легуре. У случају да се прави сензор за релативни притисак, базна подлошка се избуши кроз, а у системској се направи обла рупа. Овим је завршен поступак добијања елементарног сензора или чипа.

Отпори се спајају у Витстонов мост ради повећања нивоа излазног сигнала и компензације температурних утицаја. Извор помоћне енергије за овај сензор представља струјни (било која константна вредност између 1 и 4 mA) или напонски (између 5 и 10 VDC) генератор. На слици 3.3 представљен је теоријски Витстонов мост у напонској варијанти напајања. За мост се каже да је уравнотежен ако је излазни сигнал који се мери на његовој дијагонали једнак нули. Ово се остварује у случају да је испуњено следеће:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}, \quad (3.1)$$



Слика 3.3. Теоријски изглед Витстоновог моста

Мост излази из равнотеже под дејством силе притиска, која деформише кристалну решетку материјала од којег су отпори.  $R_1$  и  $R_4$  повећавају своју нумеричку вредност, а  $R_2$  и  $R_3$  је смањују. Као резултат тога повећава се вредност излазног сигнала, ( $U_s$ ) на дијагонали моста. Практична нумеричка вредност овог сигнала је од неколико десетина до неколико стотина  $mV$ .

Формула по којој се израчунава излазни сигнал за теоријски Витстонов мост, је следећа:

$$U_s = U_b \frac{(R_1 R_4 - R_2 R_3)}{(R_1 + R_3) + (R_2 + R_3)} + U_0 \quad (3.2)$$

$U_s$  - Излазни сигнал

$U_b$  - Напон напајања

$U_0$  - Напон офсета

У пракси се показује да су утицаји промене температуре и других параметара значајни, тако да излазни сигнал за равнотежни мост није нула и полако се помера са променом температуре. Да би се појаве компензовале, обично се користи отворена варијанта моста и редно паралелна веза отпорника за температурну компензацију.

Сензори за лабораторијска мерења су делови мерача за лабораторијску употребу највише класе. Пожељно је остварити 99,9% тачности и више, са високом стабилношћу мерења. Ови сензори се користе као контролори и калибратори индустријских мерача притиска и радних еталона притиска. У групу сензора за лабораторијска мерења спадају:

1. Вибрирајући цилиндар - претварач вибрација
2. Вибрирајући кварцни кристал - претварач вибрација
3. Кварцна Бурдонова цев са магнетном повратном спрегом - компензација силе

Претварачи притиска и диференцијалног притиска могу садржати читаву гаму претварача притисака за гасове, пару и течности почевши од оних најпростијих са фиксним опсегом и класом тачности 0,5%, па све до SMART давача са променљивим опсегом, класе тачности 0,1%, са којима може да се комуницира путем рачунара.



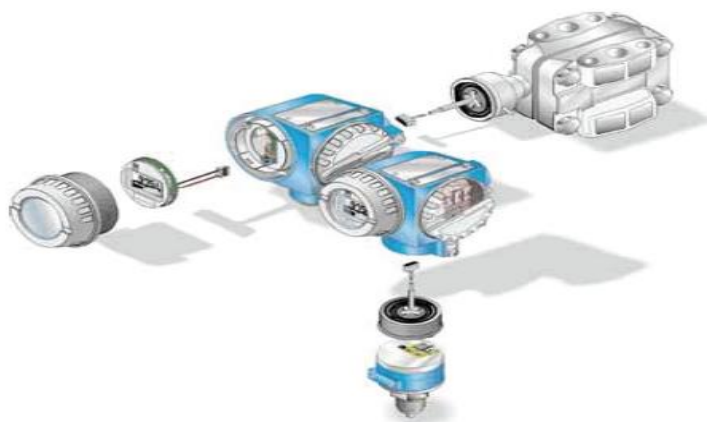
Слика 3.4. SMART претварач

Једна од најбитнијих карактеристика SMART трансмитера притиска и диференцијалног притиска је модуларни дизајн. То значи да сви трансмитери без обзира да ли су за притисак или диференцијални притисак и без обзира на ћелију коју имају, керамичку или полисиликонску, имају потпуно исту електронику, дисплеј и кућиште (слика 3.4). Приликом промене ћелије није потребна никаква поновна калибрација трансмитера, јер подаци о сваком типу ћелије се налазе унутар сензора и електроника их одмах препознаје.

Сетовање давача не захтева ваздух под притиском, исто може да се уради користећи 4 тастера који се налазе на самом претварачу, или путем персоналног рачунара. Нула може да се помера између -100% и +95% номиналног опсега ћелије, а сам мерни опсег је подесив у односу 1:20.

Електроника путем разних протокола омогућава суперпониран дигитални сигнал за пренос података и сетовање претварача путем рачунара и обезбеђује доста података о самом претварачу и мерном месту.

Сви SMART уређаји поседују матрицу података у којој се осим вредности мерене величине налази још низ података, на пример: највиша и најнижа температура медија на ћелији, најнижи и највиши притисак, број највиших притисака који су деловали на мембрану, разне сервисне информације итд. Сви поменути подаци се чувају, тако да корисник има потпуну информацију о стању претварача чиме се повећава и поузданост самог мерења притиска.



**Слика 3.5. Постављање претварача**

Кућиште SMART трансмитера притиска и диференцијалног притиска које штити електронику од неумерених температура, влаге и корозивних материјала је алуминијумско и заштићено. У кућишту се налази дигитални дисплеј и барграф. SMART трансмитери имају сертификате за рад у експлозивној средини (CENELEC, PTB, FM, CSA RIIS итд. ) и поседују електрични филтер који је, уствари, заштита од електромагнетне интерференце (ЕМС – Electromagnetic Compatibility). Претварач се тестира у електричном пољу јачине 30 V/m. Управо због тога, разна укључивања и искључивања, радио опрема, електростатичка пражњења не утичу на електронику давача и на тај начин поменута заштита обезбеђује веома поуздано мерење.

## 4.0 Закључак

Мерење представља скуп активности чији је циљ добијање вредности мерне величине (физичке величине).

Значај мерења као практичне техничке делатности од првенствене је важности како у свакодневном животу тако и у свим подручјима привреде и науке. Куд год кренемо сусрећемо се са мерењем.

Огроман прогрес технике и техничких наука захтевао је и одговарајући развој метода мерења и инструмената и пратеће опреме која се користи за мерење. Многе области науке развиле су се тек када је остварена одговарајућа могућност мерења. И у том подручју остварен је огроман прогрес. У настојању да се у нају све могућности истраживачи су често показивали и врхунац довитљивости људског ума су уз властите експерименте често допринели развоју метода и техника мерења.

Нови методи мерења развијени у физици, показали су се одлучујућим у развоју технике. Многе области савремене технике развиле су се захваљујући новим могућностима мерења. Мерење је повезано са производним процесима.

У техничкој дијагностици мерења се врше у циљу утврђивања стања техничких система. Зависно од врсте и циља мерења, користе се различити мерни инструменти и пратећа опрема. Мерење одређених параметара захтева и кориштење одговарајуће методе и примерене опреме.

Као и сваки одговоран посао, тако и послове мерења, могу исправно вршити лица теоријски и практично квалификована за такве послове .

Мерења могу бити врло једноставна и рутинска. За таква мерења није потребна посебна обука. Међутим, за сложена мерења са софистицираном опремом вршиоци морају проћи обуку и добро познавати методе и принципе мерења. Посебно је важно да познају област у којој се врше мерења.

## Литература

- [1] Драган Станковић, Физичко-техничка мерења, мерење неелектричних величина електричним путем, Научна књига, Београд, 1987.
- [2] Младен Поповић, Сензори и мерења, Завод за уџбенике и наставна средства, Српско Сарајево, 2004.
- [3] Мерење и управљање, Скрипте са предавања
- [4] Нермина Заимовић-Узуновић, Мерна техника, Машински факултет, Зеница, 2006.