

## Вежба 1. Мерне траке и њихова примена

ПИТАЊА	ОДГОВОРИ
Шта су мерне траке?	Отпорни претварачи који своје подужно истезање претварају у промену отпорности.
Где се користе мерне траке у свакодневном животу?	У оквиру електронских вага у трговинама. За мерење напрезања у машинству и грађевинарству, у манометрима, акцелерометрима и др.
Од чега су направљене мерне траке?	Од танке жице или од нагрижене танке фолије
Колико износе типичне отпорности трака?	Типично се крећу између 100 $\Omega$ и 300 $\Omega$ .
Од којих материјала се праве мерне траке?	Од легура са врло малим температурским коефицијентом отпорности (на пр. манганин)
Које истезање мере траке?	Истезање еластичне подлоге у правцу дуж кога је трака залепљена.
Који физички закон описује еластична истезања (и сабијања)?	Хуков закон $\sigma = \varepsilon E_Y$ , где је $\sigma = F/S$ [N/m <sup>2</sup> ] нормални напон а $\varepsilon = \Delta l/l$ релативно истезање.
Како се назива константа материјала $E_Y$ [N/m <sup>2</sup> ]	Јангов модул еластичности.
Какав је модуо $E_Y$ материјала који се еластично истеже малим (великим) напонима?	Тај материјал има малу (велику) вредност модула еластичности.
Колико износи релативна промена отпорности траке?	Сразмерна је релативном истезању, $\Delta R/R = k \cdot \varepsilon$ , где $k$ представља <b>коефицијент осетљивости траке</b> .
Колико износи типична вредност $k$ ?	Код металних трака је $k \approx 2$ .
Колики је ред величине уобичајених истезања металних грађевинских и машинских делова?	Ред величине је $\varepsilon \sim 10^{-4} \dots 10^{-5}$ , па су промене отпорности трака од $\Delta R/R \sim 2 \cdot 10^{-4} \dots 2 \cdot 10^{-5}$
Чиме се мере овако мале промене отпорности?	Помоћу Витстоновог моста.
Ко је пронашао Витстонов мост?	Физичар Семјуел Кристи. Чарлс Витстон, познати проналазач је популарисао ово коло.
Да ли је излазни напон моста линеарна функција отпорности?	У принципу је нелинеарна функција. Али пошто су промене отпорности врло мале, излазни напон има "одличну" линеарност.
Какву особину треба да има мост са тракама?	Мора се <b>безусловно</b> остварити температурска стабилизација.
Чиме се остварује температурска стабилност?	Применом две траке спојене у две <b>суседне</b> <b>ране</b> моста. Такође се примењује мост са четири траке спојене у све четири ране.
Које услове треба да испуне траке у мост?	Траке морају бити упарене (исти произвођач) а такође морају бити на истој температури.
Како се постиже једнакост температура?	Тиме што су траке залепљене близу једна другој.
Да ли једнаке промене отпорност трака суседних трака утичу на излазни напоне?	Не утичу. Једнаке промене отпорности у суседним гранама се поништавају.
Како се називају суседне ране моста?	Називају се <b>диференцијалне ране</b> .
На чега подсећају диференцијалне ране?	На тасове равнокраке ваге.

Какве треба да буду промене отпорности услед деловања силе?	Потребно је да ове промене буду супротног знака. Утицај промена отпорности на напон се <b>сабира</b> , тј осетљивост мерења се повећава.
Ако су промене отпорности једнаке по модулу али су супротног знака, излазни напон је.....	Два пута већи. То значи да је осетљивост мерења два пута већа него са једном траком.
Која је основна предност моста у односу на разделник напона?	Излазни напон моста се може у почетку мерења довести на нулу, што се назива <b>уравнотежавање моста</b> .
Која се предност добија уравнотежењем?	Могућно је употребити индикатор са <b>веома великом осетљивошћу</b> . То би било немогуће уколико би почетни напон био велик.
Да ли се може дати неко аналогно поређење?	На пример, код мерења кратких временских интервала, у почетном тренутку штоперица се мора довести на нулу.
Која појава је изражена помоћу Пуасоновог коефицијента?	Појава да при еластичном повећању дужине неког штапа, долази до смањења његове ширине, тј. његове попречне димензије.
Која је деформација већа по апсолутној вредности, подужна $\Delta l/l$ или попречна $\Delta b/b$ ?	Већа је подужна релативна деформација.
Како се дефинише Пуасонов коефицијент $\mu$ ?	Односом релативне попречне и релативне подужне деформације, $\mu = -\frac{\Delta b/b}{\Delta l/l}$ (бездим.)
Који знак има Пуасонов коефицијент?	Пуасонов коефицијент је позитиван број
У ком опсегу се креће вредност $\mu$ ?	Опсегу од 0 до 0,5
Колика је типична вредност $\mu$ за метале?	Између 0,28 и 0,35.
Која особина метала се изражава Пуасоновим коефицијентом?	Жилавост. Мање вредности $\mu$ одговарају кртијим а веће жилавијим материјалима.
Како се могу оптимално залепити две траке на конзолу?	Траке се лепе <b>подужно близу укљештења</b> . Оне се спајају у две суседне гране моста.
Колике су промене отпора ових трака?	Оне су максималне, једнаке по апсолутној вредности, и супротног знака.
Шта је <i>компензациона</i> или “слепа” трака.	То је трака залепљена на подлогу исте врсте као и активна трака. Међутим на ту подлогу не делује сила, па трака служи искључиво за температурску стабилизације моста.
Који сензори истезања (деформација) су бољи од мерних трака.	Није нам познато.
Како се називају сензори напрезања (деформације) код полупроводничких микроелектронских сензора.	Пиезоотпорници. Не мешати пиезоелектрични од пиезоотпорног ефекта ! Први ефект је код изолатора а други код проводника и полупроводника.

**Вежба 2. Мерење брзине ваздуха и снимање карактеристике  
анемометра са угрејаним филмом**

Питања	Одговори
Шта значи израз <i>анемометар</i> ?	Ветромер, односно мерило брзине ваздуха.
Којим методама се може мерити брзина ваздуха.	Већим бројем метода. На пример помоћу турбинског претварача, затим Пито – цеви, ротаметром, цеви са сужењем, корелационим методама и многим другим (видети уџбеник).
Који сензор се користи у овом анемометру?	Загрејани филм од платине напарен на танак цилиндар од кварцног стакла.
Да ли постоји и друга варијанта сензора?	На бази танке жице од платине или волфрама.
Коју предност има филмски сензор?	Механички је издржљивији насупрот жичаном који је склон кидању.
Чиме се загрева анемометарски филм?	Протицањем електричне струје.
На ком принципу се заснива рад?	На зависности брзине преноса топлоте са филма на ваздух зависно од брзине ваздуха.
Како зависи пренос топлоте од брзине ваздуха?	Са порастом брзине ваздуха, пренос топлоте постаје интензивнији.
Које две мерне методе се примењују?	А) Метода константне струје и Б) Метода константне температуре.
Која метода даје боље резултате?	Метода константне струје.
Објаснити суштину методе константне струје.	Највећу температуру има сензор у мирном ваздуху. Са порастом брзине температура се смањује а такође и отпорност сензора. Из тога следи да се и напон сензора смањује.
Који недостатак има метода константне струје?	При брзинама већим од око 5 m/s температура, а тиме и отпорност асимптотски тежи сталној вредности, тј. тада осетљивост тежи нули.
Објаснити методу константне температуре.	При промени брзине ваздуха, струја грејања се мења на тај начин да се температура одржава константном.
Како се зна да је температура константна?	Тиме што отпорност сензора има константну вредност.
Како се зна да је отпорност константна.	Мост у коме је сензор остаје све време у уравнотеженом стању.

Како се мења напон напајања моста а тиме и струја грејања?	Мост се напаја излазним сигналом операционог појачавача. Излазни напон моста спојен је на улазне крајеве појачавача.
Шта гарантује да је мост све време рада у равнотежном стању?	Чињеница да улазни напон операционог појачавача морају врло близак нули. У противном би појачавач отишао у засићење.
Шта је излазни сигнал овог анемометра?	Излазни напон појачавача или напон на сензору.
Каква је линеарност излазног напона?	Напон је врло нелинеарна функција од брзине.
Да ли се и овде јавља засићење при већим брзинама?	Не, иако и у овом случају осетљивост опада при већим брзинама.
Да ли се нелинеарност сигнала може “исправити”?	Да, уз помоћ линеаризатора.
Какву карактеристику треба да има линеаризатор?	Нелинеарну. Ова нелинеарност треба да има облик инверзне функције мерног кола.
Које мерило се користи за калибрацију анемометра.	Питоова цев са нагнутим “U” манометром.
Ко је био Пито?	Француски физичар из 18. века.
Којом се једначином анализира рад Питоове цеви?	Једначином Данијела Бернулија чувеног швајцарског научника 18. века.
На које се флуиде односи Бернулијева једначина?	На идеалне флуиде у којима не постоји унутрашње трење.
На којој основи је изведена Бернулијева једначина?	На закону о одржању механичке енергије флуида.
Шта изражава Бернулијева једначина.	Да на крајевима једне струјнице флуида, три компоненте притиска: статички, хидростатички и динамички притисак имају константан збир.
Чему је сразмерна разлика притиска на излазним крајевима Пито цеви?	Сразмерна је квадрату брзине ваздуха.
Зашто је цев “U” манометра нагнута под малим углом?	Да би се повећала осетљивост мерења разлике притиска.
Да ли је анемометар са угрејаним филмом (жицом) осетљив на температуру околине?	Да. Због тога је потребно (пожељно) извршити температурну стабилизацију.
Да ли је анемометар са угрејаним филмом (жицом) осетљив на честице нечистоће?	Да. Отуда је пожељно повремено чишћење.
Навести неке области примене анемометара.	Метеорологија, климатизација, истраживачка мерења .....
Да ли је могућно мерење правца и смера струјања ваздуха?	Да. (Видети уџбеник).

### Вежба 3. Мерење нивоа течности помоћу капацитивних претварача

ПИТАЊА	ОДГОВОРИ
Чиме се бави ова вежба?	Мерењем нивоа изолаторских (диелектричних) течности помоћу капацитивних претварача.
О којим се течностима ради?	О дизел гориву и о трансформаторском уљу.
Који типови претварача се користе?	Коаксијални и плочасти.
Колико износи релативна диелектрична константа ових течности $\epsilon_r$ ?	Око два.
Колико пута се повећа капацитивност претварача када се он из ваздуха у потпуности урони у течност?	Око $\epsilon_r$ пута.
Ако претварач има константну подужну капацитивност, како се мења капацитивност у функцији нивоа?	По линеарно растућој зависности.
Која се електрична кола користе за мерење капацитивним претварачима?	А) Мостови напајани наизменичним напоном. Они дају напон зависно од промена реактансе претварача. Б) Простопериодични осцилатори, код којих је учестаност осциловања зависна од капацитивн. претварача. В) Разна импулсна кола код којих фреквенција, односно трајање периоде зависи од капацитивности претварача.
Навести делове од којих се састоји мерило нивоа са наизменичним мостом.	А) Исправљач са стабилизатором, Б) LC осцилатор, В) Капацитивни мост, са променљивим кондензатором за довођење моста у равнотежу ("0"), Г) Исправљач на бази операционог појачавача (тзв. <i>идеална диода</i> ), Д) Подешљиви ослабљивач напона (атенуатор), Ђ) Једносмерни волтметар, индикатор
Шта "ради" астабилни мултивибратор (АМ)?	Он непрестано осцилује, дајући на излазима четвртaste импулсе.
Колико излаза има АМ?	Има два <i>комплементарна</i> излаза.
Шта значи комплементарни излази?	Значи да су четвртасти импулси на два краја у <i>противфази</i> , тј. када је један излаз на високом нивоу, други је на ниском.

Колико износе ови напонски нивои?	Високи ниво је близак напону напајања а ниски напону засићења (око 0,2 V).
Када се АМ понаша као мост?	Онда, када се као индикатор користи једносмерни волтметар који мери разлику средњих напона на два колектора.
Када је овај мост уравнотежен?	Када су обе полупериоде импулса једнаке, па су и средњи напони колектора једнаки. Разлика напона је тада нула.
Да ли се фреквенција осциловања АМ мења при промени капацитивности претварача?	Мења се. То значи да АМ има две врсте излазног сигнала и то: А) Једносмерни напон и Б) Фреквенцију излазних импулса.
Када је погодно користити фреквенцију као излазни сигнал?	Посебно када се ради о мерењима на даљину, јер је по својој природи фреквенција “имунија” на сметње при деловању шума и других сметњи у поређењу са обликом напона.
Шта “ради” моностабилни мулти-вibrator (ММ)?	Производи један четвртасти импулс у тренутку када буде побуђено окидним импулсом.
Чему је сразмерно трајање импулса ММ?	Сразмерно је временској константи кола RC.
У каквом стању је ММ када нема окидних импулса?	Коло не осцилује. Један транзистор је трајно засићен а други закочен.
Како се ММ користи као мост?	Када се као индикатор користи једносмерни волтметар који мери разлику средњих напона на два колектора.
Када је ММ мост уравнотежен?	Онда када је периода окидних импулса два пута већа од астабилног стања ММ.
Чиме се врши окидање ММ	Импулсима астабилног мултивибратора.
Да је фреквенција окидних импулса једнака фреквенцији ММ?	Да
Да ли је мерење нивоа осетљиво на присуство воде у уљу?	Веома. Мала количина воде може да онемогући мерење.
Да ли је могућно мерење нивоа <b>проводних</b> течности капацитивним претварачима?	Да. Међутим једна од електрода треба да буде покривена слојем изолатора.
Навести неке примере примене капацитивних нивометара.	Мерење количине горива у авиону, нивоа у водоводним резервоарима.....

#### Вежба 4. Динамичке карактеристике мерних претварача и сензора

Питања	Одговори
Чиме се бави ова вежба	Мерењем динамичких параметара мерних претварача (сензора).
У ком радном режиму су важни ови параметри?	У динамичком режиму, тј. при прелазним процесима и у простопериодичном режиму.
Да ли динамички параметри утичу на статичке карактеристике?	Не.
Шта значи термин <i>СИСТЕМ ПРВОГ РЕДА</i> ?	Систем описан линеарном диференцијалном једначином првог реда.
Шта значи термин <i>СИСТЕМ ДРУГОГ РЕДА</i> ?	Систем описан линеарном диференцијалном једначином другог реда.
Који претварачи се добро приказују системом првог реда?	Термометри и њима сродни сензори.
Који претварачи се приказују системом другог реда	Мерила силе притиска, убрзања и др.
Којим параметрима је одређен систем првог реда?	<i>А) Статичким параметром – коефицијентом појачања (статичка осетљивост)</i> <i>Б) Динамичким параметром - временском константом .</i>
Шта је <i>транспортно кашњење</i> ?	Размислити. Ако не знате да одговорите – обратите се дежурном асистенту.
Како се понаша термометар са малом временском константом?	Он има брз одзив (високу горњу граничну учестаност).
Како изгледа одскочни одзив термометра?	Експоненцијално асимптотски.
Колико траје прелазни процес при одскочној побуди?	Теоријски – траје бесконачно.
Чему је једнака временска константа система првог реда?	Времену потребном да се постигне око 63 % од крајње вредности.
Чиме је одређена временска константа сензора?	Његовом масом, површином, материјалом а такође брзином и врстом околног флуида. Малим димензијама сензора одговара мала временска константа.
У каквом дијаграму експоненцијални одзив добија линеарни облик?	У полулогаритамском дијаграму.

Шта значи ако полулогаритамски дијаграм заиста има линеарни облик?	Значи да је одзив заиста експоненцијално растући.
Чему је једнак нагиб добијене праве?	Једнак је реципрочној вредности временске константе.
Због чега се овакав начин одређивања временске константе сматра добрим?	Јер је одређена усредњавањем користећи све снимљене тачака.
Чиме се изражава линеарност дијаграма?	Вредношћу коефицијента корелације. Вредности блиске јединици означавају добру линеарност
Који су динамички параметри система другог реда?	А) Сопствена учестаност Б) Коефицијент пригушења.
Чему је једнака сопствена учестаност? Који су системи другог реда најчешћи у пракси?	Учестаности <b>непригушених</b> осцилација, које би постојале у случају када не би било вискозног трења.
Шта значи термин <i>слабо пригушени систем другог реда</i> ?	Систем са коефицијентом пригушења мањим од јединице.
Како се практично препознаје слабо пригушени систем другог реда?	При импулсној побуди уочава се појава пригушених осцилација.
Коју појаву одређује вредност коефицијента пригушења?	Брзину експоненцијалног опадања амплитуда осцилација.
Где је коефицијент пригушења већи - у ваздуху или у води?	У води јер је вискозност воде већа него ваздуха.
У који вид се претвара енергија при вискозном трењу?	У топлоту.
Маса претварача има као своју електричну аналогну величину.....	Индуктивност.
Еластичност претварача има као своју електричну аналогну величину.....	Капацитивност.
Вискозност има као своју електричну аналогну величину.....	Отпорност.
Који дијаграм се користи за одређивање коефицијента пригушења?	Полулогаритамски дијаграм смањивања амплитуда осцилација.



**Вежба: Мерење угаоне брзине и угаоног померања**

Питања	Одговори
<b>Оптички инкрементални претварачи</b>	
Који су основни делови инкременталних претварача угаоног померања?	а) Обртни диск са равномерно постављеним зупцима или отворима по обиму. б) <b>Непомични</b> сензорски систем за регистровање (бројање) проласка сваког зупца (или отвора).
Који се принципи користе за регистровање (детекцију) проласка зубаца (отвора)?	а) Оптички принципи, б) принцип детекције близине метала (метални – детектори)
Који су делови оптичког детектора?	а) Извор светлости (сијалица, LED.....) и б) Фотодиода и електронска кола којима се формира оштар импулс при сваком проласку зупца, односно отвора.
Којим инструментом се врши читавање угаона брзина?	Фреквенцметром.
Шта је фреквенцметар?	Дигитални бројач који региструје број импулса у временском интервалу.
Чему је једнака измерена фреквенција?	Производу фреквенције обртања (обрт/s) и броја зубаца.
Којим инструментом се одређује укупни број обрта мотора.	Бројачким колом које региструје импулсе од почетног до крајњег тренутка ( <i>start</i> и <i>stop</i> ).
Да ли је фреквенцметар погодан инструмент у случају када је угаона брзина мала?	Не, јер би број импулса на скали фреквенцметра био сувише мали; тј. тада би резолуција мерења била лоша.
Како се мери угаона брзина при спорој ротацији.	Помоћу мерила временских интервала, тзв. <b>тајмера</b> ( <i>timer, eng</i> ). Њиме се мери временски интервал између два узастопна импулса.
У којим се јединицама мери трајање временског интервала.	У јединицама једнаким периоди употребљеног <i>такт генератора</i> .
Да ли се са једним оптичким детектором може остварити регистровање смера угаоног померања?	Не. Смер се може одредити применом система од <b>два детектора</b> постављена на одређеном растојању.
Како се постављају та два детектора којима се омогућава одређивање смера.	Детектори су померени за једну четвртину “корака” или за цео број корака увећан (или умањен) за једну четвртину корака.
У каквом су међусобном односу импулси које дају та два детектора?	Импулси су међусобно фазно померени за око четвртину периоде. При устаљеном обртању тај померај би одговарао фазној разлици од $\pm\pi/2$ .
Навести неку од масовних примена инкременталног претварача.	У оквиру рачунарског миша (механичког). Код оптичких мишева средњи тачкић за померање редова ( <i>скроловање</i> ) такође ради на основу инкременталног претварача.
Објаснити принцип рада и конструкцију инкременталних претварача за мерење праволинијског кретања.	Принцип рада је истоветан као и код угаоних претварача. Уместо диска користи се лењир са провидним и непровидним зарезима.
Који део је покретан код овог претварача?	Покретан је фотодетекторски систем док је лењир са прорезима непокретан.
Како се називају такви инкрементални	Називају се <b>мерне летве</b> а користе се у модерним

претварачи и где се они примењују?	алатним машинама.
<b>Мерење угаоне брзине металних зупчаника</b>	
Описати рад детектора у случају феромагнетских зупчаника.	Детектор се састоји од намота (калема) постављеног на отвореном феритном језгру.
У каквом колу се може налазити детекциони калем?	а) У електричном колу напајаном наизменичном струјом. б) У магнетском колу у коме постоји неки стални магнет.
Шта се догађа при проласку зупца у случају а) наведеном у претходном одговору?	Када се зубац налази наспрам језгра, магнетска отпорност кола се смањује што доводи до пораста индуктивности калема. Повећање индуктивности се може регистровати на разне начине.
Шта се догађа при проласку зупца у случају б).	Близина феромагнетског зупца доводи до смањења магнетске отпорности. Флукс сталног магнета кроз калем расте, што доводи до индуковања напонског импулса.
Чему је сразмерна амплитуда импулса?	Брзини промене флукса (Фарадејев закон).
Колика је фреквенција $f$ генерисаних импулса?	Фреквенција је једнака фреквенцији зубаца који прођу наспрам калема, тј. износи $f = N \cdot f_m$ , где је $N$ број зубаца а $f_m$ број обрта диска у секунди.
Када се ова метода не може применити?	Када је фреквенција обртања сувише ниска. Тада генерисани импулси могу имати амплитуду блиску нивоу шума.
Да ли се метода може унапредити применом Холових претварача?	Да. Холови претварачи дају излазни сигнал сразмеран магнетској индукцији (а не <b>брзини</b> њене промене). При проласку зупца, пораст индукције даје појаву напонског импулса. Метода је применљива и при брзој и при спорој ротацији.
Где се користе Холови претварачи ротационог кретања?	У системима напајања свећица (паљења) код савремених аутомобила. (Видети на неком интернет - претраживачу "hall effect pickups")
Како се може одредити смер ротације?	Применом <b>два померена сензора</b> , као што је објашњено у случају оптичких претварача.
<b>Мерење угаоне брзине металних зупчаника (неферомагнетски материјали)</b> (напомена- ови претварачи примењиви су такође и у случају феромагнетских зупчаника)	
Како се назива ова врста претварача?	<b>Близински претварачи</b> , енгл. <b>proximity sensors</b>
Који је типични неферомагнетски материјал који се користи у машинству?	Алуминијум. (Подсећање - неферомагнетски материјали имају $\mu_r \approx 1$ ).
Описати принцип рада близинских претварача за неферомагнетске материјале.	Сензор се састоји од намота (калем) напајаног наизменичном струјом. Када је проводни материјал у близини, у њему се индукују вртложне (вихорне или Фукоове) струје. Проводни материјал је тада аналоган секундару, а калем као примару трансформатора.
Како се присуство проводног зупца одражава у колу примара (калема)?	Индуковање вртложних струја у проводнику (зупцу) представља потрошњу енергије. То се одражава на коло калема као промена његове реактансе која се одражава на пад напона. То омогућава регистровање проласка зупца.
Да ли неки други уређаји користе описани принцип?	Да. На пример детектори скривеног метала у земљи (мине), детектори оружја на аеродромима и

	сл.
<b>Мерење брзине ротације помоћу стробоскопа</b>	
У којим случајевима се користе стробоскопи?	Када је потребно измерити брзину ротације неког мотора (точка) са удаљености без претходне припреме.
Навести неки пример.	Мерење броја обртања аутомобилског мотора у сервису, мерење броја обрта када је мотор у другој просторији, а видљив је.
Који су основни делови стробоскопа?	а) Осцилатор чија се фреквенција ручно мења и читава на калибрисаној скали. б) Гасна сијалица која даје светлосни импулс (бљесак) при сваком импулсу генератора.
Како треба да буде припремљен објект?	Пожељно је да има један уочљив детаљ, на пример, неку тачку или радијалну црту.
На ком принципу се заснива рад уређаја?	На субјективном осећају посматрача. Када је фреквенција светлосних импулса $f_i$ једнака фреквенцији обртања $f_o$ , објект привидно изгледа <b>као да мирује</b> .
Да ли објект привидно изгледа непомичан и при некој другој фреквенцији импулса?	Да. Такође и при фреквенцијама $f_o = N \cdot f_i$ где је $N$ цео број.
Да ли су могуће и друге оптичке појаве?	Да и то веома разноврсне. На пример, може се јавити 2,3,4,5... привидно мирних ликова карактеристичног детаља. Пожељно је да студенти те појаве проуче експериментално.
Да ли услед вишезначности ефекта постоји могућност погрешног мерења?	Да. Стварна фреквенција се може одредити као <b>највиша</b> фреквенција при којој се добија само један привидно миран лик карактеристичног детаља на обртном објекту.
Да ли је стробоскоп погодан као сензорски систем у аутоматици?	Не. Погодан је само за мерење (читавање) јер се мерење заснива на утиску на човека.
Да ли се стробоскоп може применити за мерење фреквенције вибрација?	Да. Када је фреквенција стробоскопа подешена, објект изгледа као да мирује.
Да ли постоје и други начини мерења угаоне брзине и угаоног померања?	Да. Описани методи су само неки од многих коришћених метода. Укупан број метода мерења угаоне брзине је тешко одредити.
Шта су то <b>тахо-генератори</b> ?	То су једносмерни или наизменични генератори који се користе у мерне сврхе или као делови аутоматских система. Генератори су обично малих димензија и дају излазни напон линеарно зависан од угаоне брзине.

**Вежба:** Снимање карактеристика NTC и PTC термистора

Питања	Одговори
<i>О опита питања о електричним сензорима температуре</i>	
Како се могу поделити температурски сензори?	Постоји већи број подела. Једна од њих је: а) Контактни температурски сензори. б) Радијациони температурски сензори.
Објаснити начин примене контактних сензора температуре.	Контактни сензори су у физичком додиру са објектом чија се температура мери. После одређеног времена температура контактнoг сензора се приближно изједначује са температуром објекта.
Објаснити начин примене радијационих сензора температуре.	Радијациони сензори се налазе се на одређеној удаљености од објекта. Они примају један мали део топлотног зрачења које емитује објект. При томе сензори остају на температури која се не разликује много од температуре околине.
Навести примере када је неопходна примена радијационих термометара.	а) Када објект има веома високу температуру која би оштетила контактни термометар. б) Када је објект удаљен или је у покрету. в) Када се мери температура спољашње површине објекта; (тада су мерења контактним сензорима непоуздана).
На којим физичким законима заснивају свој рад радијациони термометри?	То су Кирхофов, Планков, Штефан-Болцманов и Винов закон.
Који контактни температурски сензори имају највећи значај и примену у пракси?	Вероватно најзаступљенији сензори температуре су платински отпорни термометри. Њихов значај је велики не само у индустрији него и у врхунски тачним лабораторијским мерењима.
Колика сме да буде топлотна снага која се развија у отпорничком сензору температуре?	Струја која протиче кроз сензор, развија топлотну енергију, па је температура сензора у устаљеном режиму увек нешто <b>виша</b> од температуре околине. Разлика температуре сензора и околине, услед загревања, мора бити довољно мала, да се њен утицај на мерење може занемарити.
Који други тип контактних сензора има велики значај у индустрији?	У области виших температура, највећи значај и заступљеност у пракси имају термопарови.
Навести типове температурских полупроводничких сензора.	а) отпорни сензори, б) сензори на бази рп спојева, в) радијациони сензори.
Навести важније отпорне полупроводничке температурске сензоре.	а) NTC термистори, б) PTC термистори и в) Силицијумски отпорни сензори.
Који су полупроводнички сензор на бази рп спојева?	То су диодни и транзисторски сензори.
Које су заједничке карактеристике полупроводничких температурских сензора?	а) Висока осетљивост (у односу на платинске сензоре). б) Релативно узак радни опсег (углавном до 120°C или ређе 150°C).

	в) Релативно велика нелинеарност.
Да ли полупроводнички температурски сензори могу имати високу тачност?	По правилу <b>не</b> . Међутим њихова тачност је довољна у многим практичним применама. Посебно изабраним и индивидуално калибрисаним сензорима може се такође постићи добра тачност.
<i>Термистори са негативним температурским коефицијентом (NTC)</i>	
Како је створен израз <i>термистор</i> (енглески: <i>Thermistors</i> )?	Скраћивањем назива “ <i>Thermally sensitive resistors</i> ”
Када су ушли у примену NTC термистори?	У времену између два светска рата.
Од којих материјала и којим поступком се израђују NTC термистори?	Сировину чине смеше праха металних оксида. Термистори се израђују поступком који се назива <i>синтеровање</i> , (слично производњи керамике).
Које димензије могу имати NTC термистори.	Димензије могу варирати у врло широким границама, почев од пречника мањих од милиметра, па до димензија реда величине центиметра.
Које су могуће примене минијатурних термистори, као најмањих контактних сензора?	На пример, могу се, на врху медицинске ињекције, унети у организам, могу мерити температуру ситних животиња и биљака итд.
Какве динамичке особине имају минијатурни термистори?	Имају малу временску константу а самим тим могућност мерења брзих температурских промена.
Навести типичне области у којима се примењују NTC термистори.	Мерење температуре у медицини, биологији, климатизацији и др. У питању су мерења где температура варира у релативно уском опсегу.
Колика може износити називна (номинална) отпорност термистора?	Називна отпорност може имати широки распон вредности, од десетак ома до реда величине стотине килоома.
Од чега зависи називна отпорност термистора?	Првенствено од хемијског састава термистора.
Које предност пружа велика називна отпорност термистора?	а) Због велике отпорности сензора, утицај отпорности прикључних проводника је мали, па њихова дужина може бити велика. б) Могу се прикључити на веће напонске изворе јер је топлотна снага обрнуто сразмерна отпорности, $P = U^2 / R$ . Самим тим је осетљивост мерења повећана.
Да ли и платински термистори могу имати тако минијатурне димензије и тако велике називне отпорности?	Не. Називна отпорност платинских жичаних сензора је око 100 Ω, а филмских платинских сензора око 1 kΩ.
Којим изразом се приказује зависност отпорности термистора од температуре?	$R(T) = A \exp(B/T) = R(T_0) \exp[B(1/T - 1/T_0)]$ где је $T [K]$ температура, а $A [\Omega]$ и $B [K]$ температурно независне константе које зависе од састава термистора.
Како се може изразити осетљивост термистора у зависности од температуре?	Изразом $\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = -\frac{B}{T^2} [^{\circ}C^{-1}]$ који има смисао линеарног температурског коефицијента у датој тачки.
Како се мења осетљивост са температуром.	На ниским температурама осетљивост је велика а опада са порастом температуре.
Како се могу одредити параметри $A$ и $B$ .	Мерењем отпорности на две познате температуре, $R(T_1)$ и $R(T_2)$ користећи израз

	$B = \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \ln [R(T_1) / R(T_2)]$
Који је бољи начин одређивања параметара термистора $A$ и $B$ ?	Мерењем већег броја парова отпорност – температура и користећи оптималну праву линију $\ln R(T) = f(1/T)$ која има облик $\ln R(T) = \ln A + B/T$ . Нагиб оптималне праве једнак је параметру $B$ .
Образложити које су добре особине овог метода.	Параметри се добијају из свих измерених вредности, при чему метод оптималне праве даје усредњене вредности.
Какав облик имају напонско струјне ( $U - I$ ) карактеристике отпорних температурских сензора?	Дијаграм $U - I$ је линеаран искључиво код <b>идеалног</b> отпорника. Код реалних отпорника, посебно код сензора $U - I$ карактеристике су <b>нелинеарне</b> при већим дисипацијама. Тада је температура сензора виша од околине и отпорност зависи од снаге.
Како се разликују $U - I$ карактеристике сензора са негативним и позитивним температурским коефицијентом?	$U - I$ карактеристика сензора на негативним коефицијентом се “повија” ка струјној ( $I$ ) оси, а сензора са позитивним коефицијентом ка напонској ( $U$ ) оси.
Која је карактеристична тачка на $U - I$ дијаграму NTC термистора?	Карактеристична је тачка у којој напон достиже своју максималну вредност. Даљим порастом струје, вредност напона опада.
Да ли је могућа примена термистора у области великих дисипација, тј. у области нелинеарних $U - I$ карактеристика?	Загрејани NTC термистор се може користити аналогно анемометрима са жицом (или филмом) за мерење брзине струјања флуида, за мерење вакуума и др.
Како треба снимати $U - I$ дијаграм у области великих дисипација?	Лагано. Између сваке узастопне промене струје, треба сачекати довољно дуго времена да дође до устаљеног стања.
<b>Термистори са позитивним температурским коефицијентом (PTC)</b>	
Које особине имају PTC термистори?	Они имају <b>три</b> карактеристична опсега отпорно – температурске ( $R - T$ ) карактеристике: а) Опсег у коме отпорност мала (око $100 \Omega$ ) и има мали <b>негативни</b> температурски коефицијент. б) Опсег у коме отпорност, почев од једне критичне температуре $T_c$ , има веома брзи пораст са температуром (до $100\%/^{\circ}\text{C}$ ). На крају тог опсега отпорност достиже око $10^3$ пута већу вредност него на почетку опсега. в) Опсег високих температура у коме се отпорност постепено смањује са температуром.
Од чега зависи вредност критичне температуре $T_c$	Од типа PTC термистора. Ова температура је карактеристична за термистор, и не може се мењати.
Која температура се назива <i>критичном</i> ?	То је температура при којој отпорност достиже два пута већу вредност од минималне отпорности.
Која је типична примена PTC термистора?	Сигнализација да је температура премашила вредност $T_c$ . Тиме се уређај (на пр. мотор) може заштити од прегревања, односно од прегоривања.

Какав облик има $U - I$ карактеристика РТС термистора?	Карактеристика је у почетку линеарна. Када услед Џулове топлоте температура термистора премаши вредност $T_c$ , отпорност нагло расте и струја почиње да опада при порасту напона. То значи да $U - I$ карактеристика има оштар максимум.
Како се мења снага са порастом напона у области где струја опада са напоном?	У овој области, дисипација је практично константна, тј. незнатно се повећава са напоном.
Како се понаша термистор у тој области?	Као грејач који даје константну снагу, односно константну температуру такође и при различитим температурама околине.
Како се може користити РТС термистор у самозагрејаном режиму?	Слично анемометру са угрејаном жицом, тј. за мерење брзине ваздуха, мерење вакуума, дискретно мерење нивоа течности. Такође се користи као ограничавач струје, као елемент који омогућава демагнетизацију код колор екрана и др.
Навести још неке примене РТС термистора.	Препоручује се да студенти одговор потраже на интернету, бирајући одредницу РТС <i>thermistor applications</i> .

## *Калибрација акцелерометра и примена за мерење брзине и пређеног пута*

ПИТАЊА	ОДГОВОРИ
Навести неке примере у којима се користе акцелерометри.	Мерење убрзања возила (ракета, авиона, аутомобила) при поласку и кочењу. Мерење убрзања средстава (лифт, роботски механизми)
Навести неке примене у сигурносне сврхе.	Код аутомобила, за активирање ваздушних јастука и за испитивања аутомобила при сударима (тзв. краш – тестови).
Како се могу поделити акцелерометри?	а) Акцелерометри чији се инерцијални елемент помера под дејством убрзања (то су уобичајени типови) б) Сервоакцелерометри, код којих се инерцијални елемент одржава скоро непомичним у односу на кућиште. (Ово су мерила вишег нивоа тачности као и цене).
Који су делови уобичајених акцелерометара?	а) Инерцијални елемент, б) Мерило силе (опруга са сензором померања) којом се мери инерцијална сила. в) Затворено кућиште причвршћено на возило.
Чему је сразмерно убрзање?	Излазном сигналу мерила силе.
Акцелерометри се приказују динамичким системима....	Другог реда. ( <i>Видети објашњења у уџбенику Физичко техничка мерења</i> )
Који је принцип рада сервоакцелерометра?	Инерцијални елемент је спојен за мерило померања. Сигнал овог мерења се појачава и води на систем повратне спреге који делује на механизам који ствара силу, која <b>поништава</b> деловање инерцијалне силе. Тиме инерцијални елемент остаје скоро непомичан у односу на кућиште.
О каквој повратној спрези је реч?	О јакој негативној повратној спрези.
Чему је сразмерно убрзање?	Убрзање је сразмерно струји које даје коло повратне спреге која напада механизам којим се инерцијални елемент одржава непомичним (у односу на кућиште).
Како се читава убрзање које се мери?	Убрзање се читава као напон на отпорнику кроз који се успоставља струја повратне спреге.
Које су системске предности сервоакцелерометра?	Пошто се инерцијални елемент не помера, не долазе до изражаја нелинеарност опруге а такође ни утицај трења.
Како се калибришу акцелерометри који раде у опсезима мањих убрзања?	Методом „нагињања” у гравитационом пољу.
Колики је опсег убрзања који се може постићи максималним „нагињањем”?	Опсег је $\pm g$ ако је почетни положај акцелерометра хоризонталан.
Како се могу калибрисати много већа константна убрзања?	Помоћу центрифуга.
Када се јављају највећа убрзања?	При падовима и сударима.



Колико је убрзање при нагињању акцелерометра за угао $\alpha$ ?	$a = g \sin \alpha$
На пример, да би се симулирало убрзање $a = \pm g/2$ угао нагиба треба да износи	$\alpha = \pm 30^\circ$
Како се називају системи за мерење брзине и пређеног пута помоћу акцелерометара?	Инерцијални системи. Код возила називају се инерцијални навигациони системи.
Где се користе инерцијални навигациони системи?	У ракетама, авионима, бродовима, спортским аутомобилима и др.
Осим акцелерометара у инерцијалним навигационим системима се користе такође и ..	Жироскопи. (Препоручује се да се студенти упознају или подсети шта су то жироскопи)
Како се добија сигнал сразмеран брзини?	Интеграцијом сигнала акцелерометра у посматраном временском интервалу.
Како се добија сигнал сразмеран путу?	Двоструком интеграцијом сигнала акцелерометра у посматраном временском интервалу.
Шта је главни узрок несигурности инерцијалних мерних система?	Грешке које се јављају при интеграцији сигнала из акцелерометра.
Да ли се као сензори акцелерометра могу применити пиезоелектрични претварачи?	Да. Али су пиезоелектрични акцелерометри погодни само за мерења у динамичким условима. На пример при ударима, вибрацијама и сл.
Да ли су пиезоелектрични акцелерометри примењиви код аутомобила.	Нису погодни ако се захтева мерење уобичајених убрзања и успорења.

**Вежба Карактеристике пиезоелектричних сензора и примена  
ултразвучног дефектоскопа**

ПИТАЊА	ОДГОВОРИ
<i>Пиезоелектрични ефект и материјали</i>	
Када је откривен пиезоелектрични ефект?	Године 1880. овај ефект су открили браћа Пјер <sup>1</sup> и Жак Кири.
Код којих материјала се јавља пиезоелектрични ефект?	Код <b>изолатора</b> који имају диполну структуру.
Како се деле пиезоелектрични материјали ?	На природне и вештачке пиезоелектричне материјале.
Најпознатији и први откривени природни пиезоелектрични материјал је	<b>кварц</b> , кристал SiO <sub>2</sub> , познат по својој декоративности и лепоти. Један варијетет кварца се у народу назива <b>кремен</b> <sup>2</sup> , камен познат по великој тврдоћи. Кресањем оцила о кремен, у прошлости се палила ватра.
Каква веза постоји у кристалу кварца?	Јонска веза. Атом Si је позитиван а молекул O <sub>2</sub> негативан.
Један од најважнијих вештачких материјала је .....	<b>баријум титанат</b> (који је керамички материјал, а добија се синтеровањем).
Какву структуру имају вештачки (керамички) материјали?	Састоје се од великог броја микроскопских електричних дипола.
Како стичу пиезоелектричне особине природни, а како вештачки материјали?	Природни материјали сами по себи имају пиезоелектрична својства; вештачки материјали добијају та својства после примене поступка <b>поларизације</b> .
Шта се догађа при поступку поларизације вештачких материјала?	Код неполарисаног материјала електрични диполи су хаотично усмерени. Хлађењем загрејаног претварача у јаком спољашњем електричном пољу диполи се трајно усмеравају чиме материјал добија пиезоелектричне особине.
Да ли вештачки материјали могу да изгубе пиезоелектрична својства, тј. да се <b>деполаришу</b> ?	Да. Губитак поларизације вештачких материјала настаје када се они загреју изнад одређене, тзв. <i>Киријеве температуре</i> .
Да ли постоји Киријева температура код природних пиезоел. материјала?	Да. Међутим, после хлађења, материјалу се спонтано враћају пиезоелектричне особине.
У којим видовима се испољава пиезоелектрични ефект?	А) Као директни и Б) као инверзни пиезоелектрични ефект.

<sup>1</sup> Pierre Curie (1857 – 1906), Открио да феромагнетски материјали изнад одређене температуре нагло губе феромагнетна својства (*Киријева температура*). Заједно са супругом Маријом пронашао најјаче природне радиоактивне елементе - полонијум и радијум. Један од добитника Нобелове награде за физику 1903. Погинуо је у несрећи када је на улици на њега налетела кочија.

<sup>2</sup> Бранко Радичевић: **Коло**: “... Тврд си као кремен камен/ Где станује живи пламен...”

Објаснити директни пиезоелектрични ефект.	То је појава <b>наелектрисања</b> на електродама услед дејства спољашње силе или притиска. Истовремено се јавља и напон сразмеран наелектрисању.
Објаснити индиректни пиезоелектрични ефект.	То је појава <b>деформације сензора</b> (ширење и скупљање) сразмерно прикљученом електричном пољу, односно напону.
Директни и индиректни пиезоелектрични ефект су....	<b>Потпуно реципрочни</b> и представљају једну исту физичку појаву.
Примене директног пиезоелектричног ефекта су у....	Раду сензора за <b>мерење</b> импулсних или наизменичних величина као што су сила, притисак (звук и ултразвук), убрзање...
Примене индиректног ефекта су.....	А) За генерисање ултразвука, Б) У раду упаљача за плин или код експлозивних направа. В) У раду пиезоелектричних актуатора.
<i>Пиезоелектрични претварачи</i>	
Којим електричним компонентама су слични пиезоелектрични претварачи?	<b>Кондензаторима.</b> То значи да претварач има две електроде на које се може или довести или добити електрични сигнал.
Како се израђују електроде.	Напаравањем танког металног слоја (филма). (У ватросталној посуди се налази алуминијум. Он се загрева до кључања, а његова пара се у танком слоју кондензује на површини сензора формирајући электроду).
Објаснити начин рада пиезоелектричних актуатора. Студентима се препоручује да на неком интернет-претраживачу потраже одредницу "piezoelectric actuators"	Сразмерно улазном напону претварач се скупља или шири и тиме врши померање (транслацију или ротацију) неког објекта као на пример огледала, вентила, ротирајућег дела и др.
Да ли постоје пиезоелектричне ваге у трговини?	Не. Сензор би дао сигнал само у тренутку стављања или скидања тега. При мировању тега, сигнал би био нула.
До које горње граничне учестаности је могуће мерење силе, притиска или убрзања?	До учестаности која је <b>нижа</b> од сопствене (резонантне) учестаности претварача. Типична вредност горње граничне учестаности достиже око 20% од сопствене учестаности.
Како се понаша претварач у близини своје резонантне учестаности?	Као систем <b>другог реда</b> са <b>веома малим</b> коефицијентом пригушења.
Чиме је одређена резонантна учестаност претварача?	Учестаност је реципрочно сразмерна <b>дебљини сензора</b> (плочице). Танке плочице имају високу сопствену учестаност и обрнуто.
При резонанцији претварач се понаша као ....	<b>Полуталасни резонатор.</b> Наиме, дебљина плочице је једнака половини таласне дужине звука у том материјалу.
Од чега зависи доња гранична учестаност мерног система ?	Од укупне <b>временске константе претварача, кабла и појачавачког кола.</b>

Ког реда величине су резонантне учестаности пиезоелектр. претварача?	Обично су више од 50 КHz, што је много више од осталих сензора силе и притиска.
Која врста електронских појачавача има “најбоље” особине?	Тзв. <b>појачавачи наелектрисања</b> , који конвертују наелектрисање у напон.
Које врсте резонанција постоје код пиезоелектричних сензора?	Редна резонанција, и паралелна резонанција.
Како се манифестују те две резонанције?	При редној резонанцији модуо импедансе постаје минималан а при паралелној резонанцији има максималну вредност.
Да ли су редна и паралелна резонантна фреквенција блиске?	Да.
Која је од тих фреквенција виша?	Виша је <b>редна резонантна учестаност</b>
Како се горња чињеница може објаснити?	На основу еквивалентне шеме претварача која важи при високим фреквенцијама. Ради објашњења, по потреби, консултовати асистента.
<i>Импулсни ултразвучни дефектоскоп</i>	
Са којим класичним уређајем се може упоредити дефектоскоп?	Са радаром. Код радара се емитује кратки електромагнетни, а код дефектоскопа кратки ултразвучни импулс.
Које су најчешће намене дефектоскопа?	Откривање унутрашњих пукотина у осовинама вагона, варовима и сл. Њима се може мерити дебљина металних плоча и др.
Где се користе сличне врсте уређаја?	За мерење дубине река, за откривање камена у бубрезима или жучи, за посматрање плода у трудноћи и сл.
Коју улогу има пиезоелектрична плочица код дефектоскопа?	Њена улога је двострука: а) Она емитује ултразвучни (УЗ), импулс а затим б) Има улогу пријемника рефлектованих ултразвучних импулса.
Из чега се састоји УЗ импулс?	Из неколико (десетак) пригушених осцилација.
Чему је једнака фреквенција сопствених осцилација?	Фреквенцији сопствених осцилација пиезоелектричне плочице.
Колика треба да буде таласна дужина УЗ импулса?	Треба да буде реда величине најмањег дефекта који треба открити.
Када се врши емитовање новог УЗ импулса?	Тек када се претходни импулс “врати” након рефлексије од другог краја узорка.
Која врста обраде сигнала се врши након његовог пријема на плочици?	На плочици се добија слаб сигнал у облику неколико пригушених осцилација. Тај сигнал се појачава, детектује и као једносмерни импулс приказује на екрану.
За која мерења се може користити дефектоскоп?	За одређивање брзине простирања ултразвука у неким материјалима. На основу брзине се може одредити модуо еластичности и др.