

1 - badanie właściwości metrologicznych tensometrycznych czujników pomiarowych

- a) Omówić budowę i zasadę działania czujnika tensometrycznego. Określić jaką wielkość niesielektryczną na elektryczną przetwarza tensometr. Podać funkcję tego przetwornika.
- b) Podczas pomiarów za pomocą czujników tensometrycznych współpracujących ze wzmacniaczem pracującym na zasadzie modulacji amplitudy, pojawiła się w obwodzie czujników siła termoelektryczna oraz wydrukowała się siła elektromotoryczna pochodząca od pól elektromagnetycznych. Podać wpływ napięć zakłócających na wyniki pomiaru. Odpowiedź uzasadnić poprzez odpowiednią interpretację w dziedzinie widmowej zjawisk zachodzących we wzmacniaczu.
- c) Jaki można skompensować wpływ zmian rezystancji przewodów łączących czujnik ze wzmacniaczem?
- d) Opisz siłę termoelektryczną – jak ona wpływa na pomiar w układach tensometrycznych?
- e) Jakie mogą być źródła błędów przy pomiarach tensometrycznych?
- f) Zaprojektować układ pełnego mostka z tensometrami do pomiaru siły rozciągającej z kompensacją siły gnącej i temperatury. Narysuj rozmieszczenie tensometrów na belce i w mostku.
- g) Zaprojektować układ mostka do pomiaru siły gnącej z kompensacją siły rozciągającej i temperatury. Narysuj rozmieszczenie tensometrów na belce i w mostku.
- h) Podczas kalibracji tensometrycznego przetwornika wagi położono na wadze masę 100kg i odczytano odpowiadającą jej zmianę wartości napięcia niezrównoważeni mostka tensometrycznego $\Delta U_0/U_Z=1,92 \text{ mV/V}$. Określić czułość wagi oraz podać ile wynosi masa worka ziemniaków, jeśli napięcie niezrównoważeni wynosi $\Delta U_0/U_Z=0,768 \text{ mV/V}$.
- i) Belka na niej dwa tensometry podłużny (w odległości $l_1=250\text{mm}$) oraz poprzeczny (w odległości $l_2=200\text{mm}$) naklejone na górze. Obliczyć stosunek czułości na siłę gnącą do czułości na siłę rozciągającą. Czułości zdefiniować odpowiednio jako $S_g=(\Delta U_0/U_Z)/F_g$, $S_x=(\Delta U_0/U_Z)/F_x$. Dane $h=2\text{mm}$, $v=0,3$.
- j) Wykorzystując belkę jako element sprężysty w układzie zginanym, zaprojektować układ do pomiaru masy. Projekt ma obejmować przyjęcie niezbędnej ilości czujników tensometrycznych ze względów oszczędnościowych, niezbędne minimum, tak aby zapewnić odpowiednie kompensacje, sposób ich podłączenia w mostku oraz teoretyczne wyznaczenie czułości. Konieczne wymiary geometryczne i wartości stałych przyjąć jako znane.

2 - badanie właściwości metrologicznych układu do pomiaru zużycia energii cieplnej

- a) Opisać podstawy teoretyczne pomiaru energii cieplnej.
- b) Wymienić metody pomiaru przepływu i omówić ultradźwiękową metodę pomiaru przepływu.
- c) Pomiar metodą dwu-, trzy-, cztero- przewodową.
- d) W jaki sposób można wyeliminować błędy addytywne pochodzące od czujników temperatury w systemach do pomiaru energii cieplnej?
- e) Co to jest stała Stuck'a, wyjaśnić znaczenie tego parametru przy wyznaczaniu energii cieplnej.
- f) Na skutek pomyłki do obwodu pomiarowego w miejsce wody wpuszczono olej transformatorowy. Czy będzie to miało wpływ na wynik pomiaru? Odpowiedź uzasadnij.
- g) Wyjaśnić zasadniczą różnicę pomiędzy trybami pracy ASCII a RTU w interfejsie RS485.
- h) Porównać RS232 z RS485.
- i) Monter dostał przepływomierz ultradźwiękowy i producent zalecił, żeby montować go na dopływie ciepła. Jemu to jednak nie pasowało, więc zamontował sobie ten przepływomierz na odpływie. Jakie to będzie miało skutki dla pomiaru energii cieplnej?

3 - pomiary parametrów drgań mechanicznych

- a) Jakie są zależności między amplitudami parametrów w ruchu drgającym.
- b) Uzasadnić, że przetwornik sejsmiczny w akcelerometrze przetwarza bezwzględne przemieszczenie drgań obudowy czujnika na względne przemieszczenie masy sejsmicznej względem obudowy czujnika.
- c) Podać warunki poprawnej pracy akcelerometru z wyjściowym przetwornikiem tensometrycznym (tzn. wyjaśnić zasadę doboru parametrów: stopnia tłumienia, pulsacji drgań własnych na podstawie charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowej i fazowo częstotliwościowej).
- d) Podczas skalowania czujnika przyśpieszenia z masą sejsmiczną i tensometrycznym przetwornikiem sygnału wyjściowego zmierzono wartość napięcia na wyjściu czujnika w zdefiniowanej przez producenta pozycji jego pracy $\Delta U/U_z=0,0 \text{ mV/V}$, czujnik obracamy o 90 stopni $\Delta U/U_z=3,5 \text{ mV/V}$ – wyznaczyć czułość czujnika.
- e) Podczas pomiarów parametrów ruchu drgającego zmierzono amplitudę przyspieszenia drgań $a=10\text{m/s}^2$, częstotliwość drgań wynosiła 100Hz . Określić amplitudę przemieszczenia i prędkości tych drgań, przy założeniu, że miały one charakter sinusoidalnie zmienny.
- f) Wyznacz błąd względny pomiaru amplitudy, dla przebiegu sinusoidalnego o $f=100\text{Hz}$. Czujnik o $f_0=400\text{Hz}$ i $\xi=0,707$ którym mierzymy amplitudę tego przebiegu.

4 - pomiar na obiekcie wirującym

- a) Wyjaśnić zasadę działania układu do pomiaru momentu skrętnego wału metodą tensometryczną.
- b) Przeprowadzić teoretyczne skalowanie toru pomiarowego z tensometrycznym momentem skręcającym, podpowiedź: $\epsilon_{45} = \frac{16}{\pi} \cdot \frac{D}{D^4 - d^4} \cdot \frac{1+v}{E} \cdot Ms$. Określić od jakich czynników zależy dokładność tak wykonanego skalowania.
- c) Wymień możliwe źródła błędów w tensometrycznym czujniku momentu skręcającego zamontowanym na wirującym wale spowodowane zmianą temperatury otoczenia.
- d) Narysować schemat blokowy stanowiska do pomiaru momentu.
- e) Opisać metodę cyfrowego, bezstykowego pomiaru momentu skręcającego.
- f) Podać i omówić sposoby pomiaru prędkości obrotowej.
- g) Na wale naklejonych jest 8 tensometrów co 90° . Pierwsza grupa pod kątami 45° i 135° , a druga grupa pod kątem 15° i 165° . Obliczyć stosunek czułości.

5 - pomiar wielkości termodynamicznych

- a) Narysować rozkład odkształceń radialnych i tangencjalnych na powierzchni membrany kołowej w czujniki ciśnień. Podać jakie wnioski wynikają z tego rozkładu dla konstrukcji przetwornika odkształcenia – sygnał elektryczny.
- b) Jakie rodzaje przetworników stosuje się w membranowych czujnikach ciśnienia, jaki mają one wpływ na częstotliwościową charakterystykę czujnika?
- c) Podaj minimalny i maksymalny zakres pomiarowy (chodzi o częstotliwość) dla czujnika membranowego.
- d) Wyjaśnić pojęcie błędu dynamicznego przy pomiarze temperatury. Jakie elementy konstrukcyjne czujników oraz jakie parametry, decydują o ich dynamice?
- e) Dana stała czasowa czujnika $T=1/10$ s, gdy temp. zmienia się sinusoidalnie z $f=5/\pi$ Hz. Podaj błąd pomiaru amplitudy temperatury.
- f) Czy $1\text{Pa}=1\text{kg}/\text{m}^2$, $1\text{bar}=100\ 000\text{Pa}$?

6 - badanie właściwości metrologicznych czujników temperatury

- a) Na czym polega dwupunktowy sposób skalowania czujników temperatury. Jakie znasz sposoby skalowania dla czujników nieliniowych.
- b) Podać sposób łączenia czujników z wyjściem ilorazowym. np. AD22100 z przetwornikiem A/C.
- c) Wyjaśnić jak działają termometry oporowe, podaj przykłady układu pomiarowego.
- d) Jakie materiały stosuje się na termorezystory?
- e) Jakie znasz źródła błędów przy pomiarze temperatury?
- f) Co oznacza: Pt100/1,386A?
- g) Sformułować i uzasadnić prawo trzeciego metalu dotyczące obwodu termoelektrycznego.
- h) Zaprojektuj układ do pomiaru różnicy temperatur dla termoelementu.
- i) Wyznaczyć temperaturowy błąd samopodgrzania rezystancyjnego termometru platynowego Pt100 o rezystancji cieplnej $0,35\ ^\circ\text{C}/\text{mW}$, reszta elementów 100Ω . Mostek zasilany jest napięciem 1V.
- j) Rezystancyjny termometr platynowy Pt100, którego rezystancja cieplna wynosi $0,35\ ^\circ\text{C}/\text{mW}$ pracuje w systemie pomiarowym w układzie czteroprzewodowym pomiaru rezystancji. Z powodu awarii czujnika obsługa włączyła w układ pomiarowy nowy czujnik Pt100 lecz o innej budowie i w związku z tym innych właściwościach cieplnych. Rezystancja cieplna nowego termorezystora wynosi $0,7\ ^\circ\text{C}/\text{mW}$. Określić, ja wymiana czujnika wpłynie na wartości składowej błędu pomiaru spowodowanej efektem samonagrzewana.

7 - system pomiarowy z kartą pomiarową (DasyLAB)

- a) Co to są błędy addytywne oraz jak można je wyeliminować?
- b) Narysować schemat podłączenia symetrycznego i niesymetrycznego z urządzeniem A/C oraz zasilaniem.
- c) Jak zachodzi przetwarzanie A/C i jakie wiążą się z tym błędy.

8 - badanie właściwości metrologicznych toru pomiarowego z modulacją AM

- a) Narysuj schemat blokowy wzmacniacza z modulacją amplitudy.
Narysuj przebiegi w punktach charakterystycznych dla tego wzmacniacza:
 - 1) sygnał nośny
 - 2) sygnał do modulacji
 - 3) sygnał zmodulowany
 - 4) sygnał po demodulacji
 - 5) sygnał po filtrze dolnoprzepustowymdla sygnałów:
 - 1) sinusa
 - 2) sinusa z składową stałą
 - 3) tylko dodatnie połówki sinusa
 - 4) prostokąta
 - 5) sygnału stałego
- b) Zakłócenia związane z modulacją amplitudy.
- c) Po co się stosuje wzmacniacz pasmowo-przepustowy w torze modulacji amplitudy.

dodatek na egzamin

- a) Porównać właściwości metrologiczne zwykłego i różnicowego czujnika pojemnościowego przemieszczenia. Pokazać różnicę na przykładzie czujnika ze zmienną odległością okładzin.
- b) W wyniku zmian warunków otoczenia pojemność kabla łączącego piezoelektryczny czujnik ciśnienia o pojemność $C_C=1 \text{ nF}$ ze wzmacniaczem zmieniła się o +5% od nominalnej wartości $C_K=0,5 \text{ nF}$. Określić względny błąd pomiaru wynikający ze zmiany pojemności kabla w przypadku, gdy współpracuje on ze wzmacniaczem napięciowym.
- c) Za pomocą czujnika Pt100 współpracującego w układzie 4-przewodowym z kalibratorem temperatury realizującym kompensację błędu nieliniowości czujnika zmierzono temperaturę 400°C oraz rezystancję czujnika $R=247,04\Omega$. Oblicz błąd nieliniowości czujnika jeśli współczynnik temperaturowy czujnika wynosi $\alpha=0,00385$.
- d) W instalacji pneumatycznej wykonano pomiar ciśnienia za pomocą membranowego czujnika z przetwornikiem tensometrycznym. Obliczyć względny błąd pomiaru amplitudy sinusoidalnie zmennego ciśnienia, jeśli zmiana się ono z częstotliwością $f=100 \text{ Hz}$, przy czym częstotliwość drgań własnych czujnika ciśnienia wynosi $f_0=400 \text{ Hz}$ a jego stopień tłumienia $\xi=0,707$.

1a) Tensometrami nazywa się elementy rezystancyjne, wykonane z metalu lub przewodnika, w postaci cienkich drutów, ścieżek folii lub przeków.



- typowe rezystancje $120\Omega, 350\Omega$

- stała tensometru

dla metali $k=1:4$

dla poliprzewodników $k=200-300$

- stała Poisona związane odkształcenie
wzdłużne i poprzeczne (dla met. $\nu \approx 0.3$)

Jżeli przewodnik w postaci drutu o średnicy d i długości l
zostanie poddany działaniu osiowej siły zewnętrznej, to ulegnie
on odkształceniu. Jego długość zmieni się o Δl , natomiast
średnica zmieni się o $\Delta d = -\nu \cdot \Delta l$. Ponieważ rezystancja
przewodnika jest funkcją zarówno rezystancji, jak i wym. geom.:

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

to odkształcenie wywoła zmianę rezystancji.

$$\frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}} = \frac{E_R}{E_l} = k \Rightarrow E_R = k \cdot E_l = \frac{\Delta R}{R} = \frac{R_p - R_0}{R_0}$$

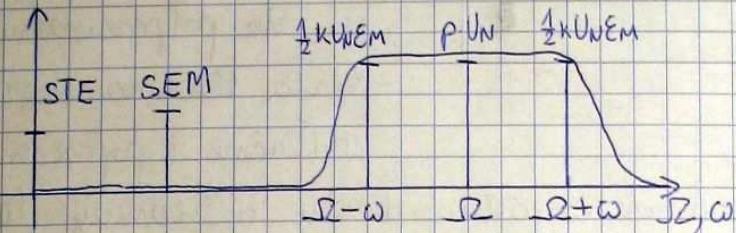
$$R_p = R_0 (1 + E_R) = R_0 (1 + k \cdot E_l), \text{ gdzie:}$$

R_0 - rezystancja przed odkształceniem

R_p - rezystancja po odkształceniu

Tensometr przedewszystkimi odkształca się na względnie
zmianę rezystancji.

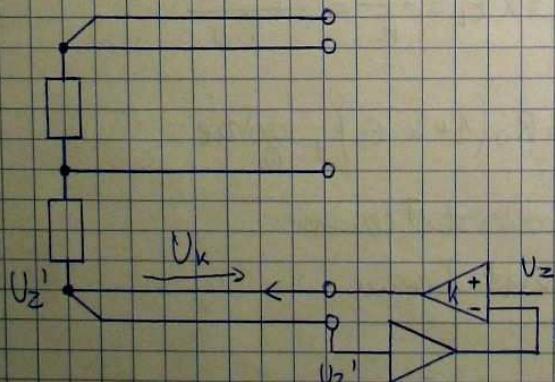
1b) Wzmacniacz fazowo-przesyłowy eliminuje zakłócenia pochodzące od STE oraz SEM. Zatem samo pojawienie się silny termoelektrycznej lub elektromotorycznej nie wpływa negatywnie na pomiar. Natomiast zakłócenia pochodzące od szybko-zmieniającej temperatury nie są eliminowane - wpływają na wynik pomiaru.



$$\begin{cases} U_z = U_N \cos \Omega t \\ E = E_N \cdot \cos \omega t \end{cases}$$

$\omega < \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{10}\right)\Omega$ - wynika z 2 zasad poprawności modulacji amplitudy

1c) Aby skompensować wpływ zmiany rezystancji przewodów mocujących czujnika ze wzmacniaczem, wykorzystuje się metodę 5-przewodową.



$$U_z' = -U_k + (U_2 - U_2') \cdot k$$

$$U_2' = -U_k + k \cdot U_2 - k \cdot U_2'$$

$$U_2' (1+k) = U_2 \cdot k - U_k$$

$$U_2' = \frac{U_2 \cdot k}{1+k} - \frac{U_k}{1+k} \rightarrow 0$$

gdy $k \rightarrow \infty$, to:

$$U_2' \rightarrow U_2$$

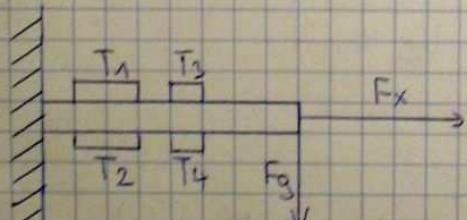
1d) Sily termoelektryczne - są to siły które powstają na styku dwóch różnych przewodników, znajdujących się w różnych temperaturach.

Sily te powodują inny rozkład napięć w mostku niż wynikający z napięcia zasilenia, tym samym generują błędy pomiaru. Aby uniknąć tych błędów należy wykonać przewody z jednolitych materiałów albo zastosować stabilizację temperaturową.

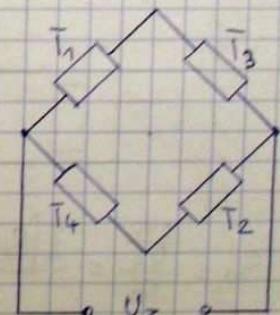
1e) Źródła błędów przy pomiarach tensometrycznych:

- różne współczynniki rozszerzalności temperaturowej tensometru i podłożu
- indukowane siły napięć pod wpływem pól elektromagnetycznych
- dodatkowe siły napięć pochodzących od sił termoelektrycznych
- zmiana rezystencji przewodów deproducujących, na skutek zmiany temperatury
- nie osiągnięcie tensometru i podłożu (przy makietyniu)
- zmiana wilgotności
- zmiana rezystencji tensometru, na skutek zmiany temp.

1f)



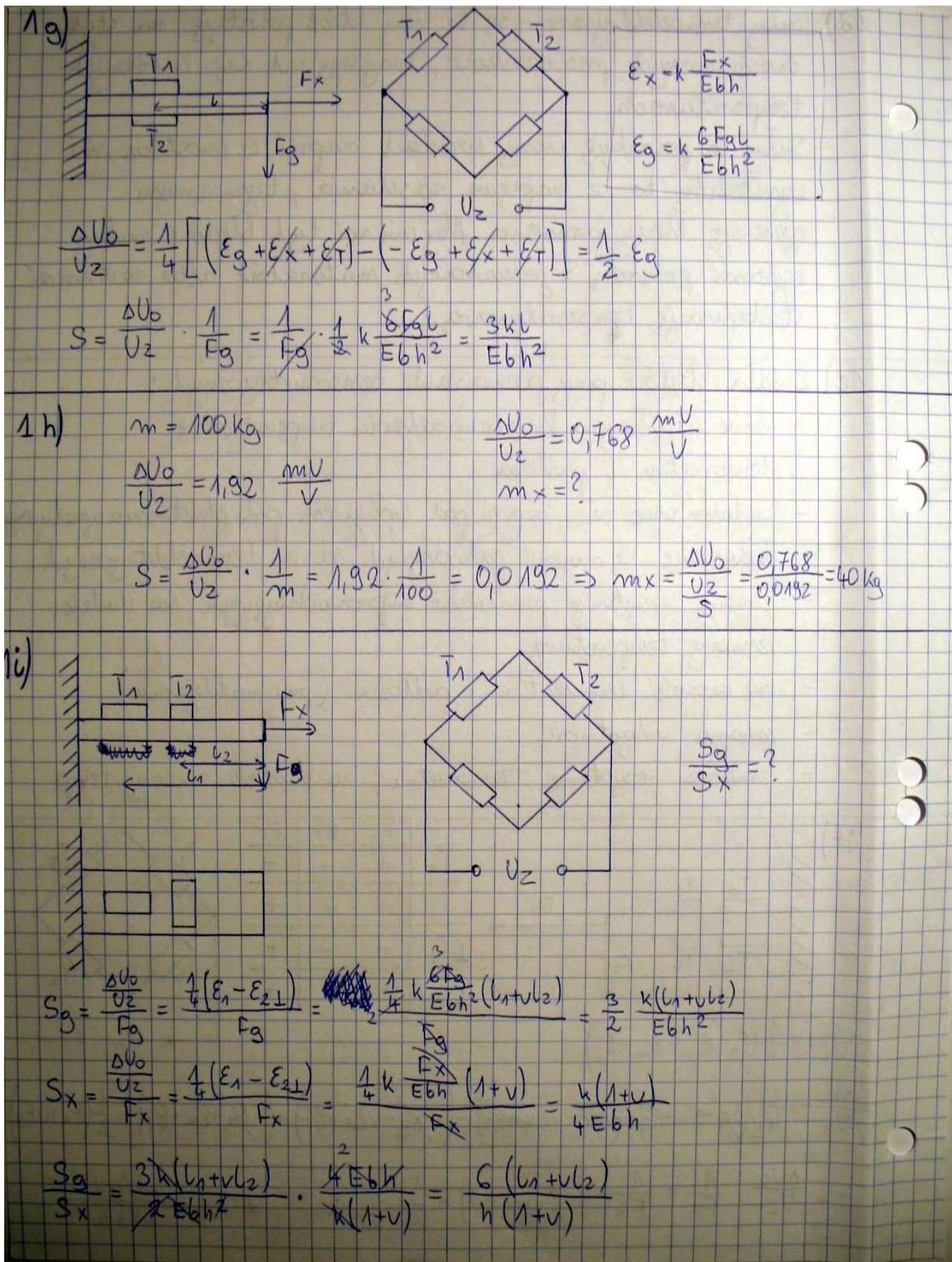
	ε_3	ε_x	ε_t
T ₁	+	+	+
T ₂	-	+	+
T ₃	-	-	+
T ₄	+	-	+



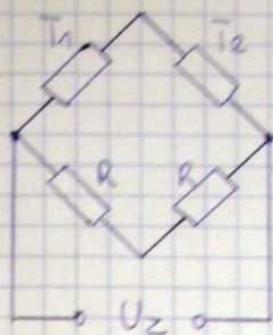
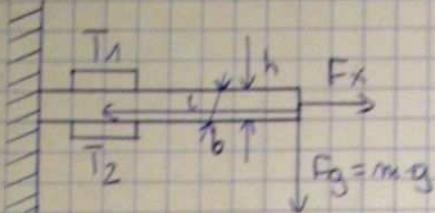
$$\frac{\Delta U_0}{U_2} = \frac{1}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_3 - \varepsilon_4 + \varepsilon_2)$$

$$\frac{\Delta U_0}{U_2} = \frac{1}{4} [(\varepsilon_3 + \varepsilon_x + \varepsilon_t) - (\sqrt{\varepsilon_3} - \sqrt{\varepsilon_x} + \sqrt{\varepsilon_t}) - (\sqrt{\varepsilon_3} - \sqrt{\varepsilon_x} + \sqrt{\varepsilon_t}) + (-\varepsilon_3 + \varepsilon_x + \varepsilon_t)] = \frac{1}{2} (\varepsilon_x + \varepsilon_t)$$

$$S = \frac{\Delta U_0}{U_2} \cdot \frac{1}{F_x} = \frac{1}{F_x} \cdot \frac{1}{2} \varepsilon_x (1 + v) = \frac{1}{F_x} \cdot \frac{1}{2} \cdot k \frac{F_x}{E_b h} \cdot (1 + v) = \frac{k(1+v)}{2 E_b h}$$



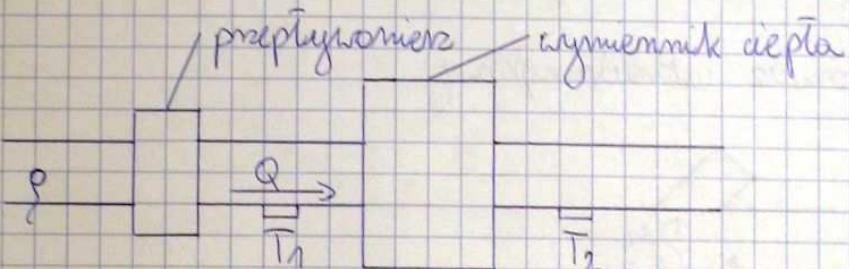
1j)



$$\frac{\Delta U_0}{U_0} = \frac{1}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_R + \varepsilon_R) = \frac{1}{4} [(\varepsilon_g + \varepsilon_x + \varepsilon_T) - (-\varepsilon_g + \varepsilon_x + \varepsilon_T)] = \frac{1}{2} \varepsilon_g$$

$$S = \frac{\frac{\Delta U_0}{U_0}}{m} = \frac{\frac{1}{2} k \frac{E b h^2}{l}}{m} = \frac{3 k g l}{E b h^2}$$

2a) Układ do pomiaru energii cieplnej składa się z przepływomierza oraz dwóch czujników temperatury. Jeden z nich mierzy temperaturę T_1 (przed wymiennikiem ciepła), zaś drugi temp. T_2 (za wymiennikiem ciepła). Znajduje przepływ, różnicę temperatur, gęstość cieczy oraz ciepło właściwe mówiące o jej mocy dostarczanej / odebranej przez wymiennik ciepła.



Ciepło właściwe to własność mówiąca o tym ile energii należy dostarczyć jednostce masy aby spowodować wzrost temperatury o jeden stopień.

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta E_c}{\Delta T} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

$$\Delta E_c = mc\Delta T \quad [\text{J}]$$

$$P = g \cdot Q \cdot c \cdot \Delta T \quad [\text{W}], \text{ gdzie:}$$

P - moc dostarczana / odebrana przez wymiennik [W]

g - gęstość cieczy $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$

Q - przepływ $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$

c - ciepło właściwe cieczy $\left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$

$\Delta T = T_2 - T_1$ - przerost temperatury [K]

2b) Metody pomiaru przepływu oparte o:

- prawo Bernulliego
- zasady dynamiki Newtona
- zasada strat energii w skutek tania lepkiego
- zasada indukcji elektromagnetycznej
- zasada przyrostu temperatury i wymiany ciepła
- czujniki laserowe
- czujniki ultradźwiękowe

Pomiar ultradźwiękowy:

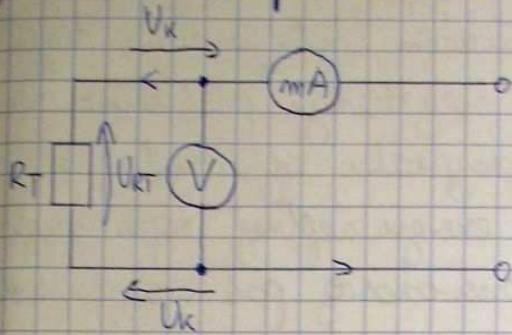


Fala dźwiękowa poruszająca się w tym samym kierunku co przepływ wody dociera szybciej, niż fala poruszająca się w kierunku przeciwnym do przepływu cieczy. Zasada działania przepływowomierzów ultradźwiękowego bazuje na pomiarze tych czasów. W przypadku braku przepływu czasy przejścia fali w danym kierunkach są jednakowe.

Zalety:

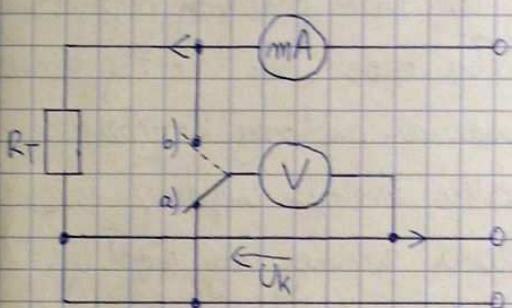
- bezkontaktowy pomiarewnętrzny
- możliwość bezpośredniego monitoringu nie istniejącej instalacji
- pomiar nieintruzyjny nie sprawiażenia spadku ciśnienia
- brak części ruchomych (wysoka trwałość)

2c) Metoda dwoj-przewodowa



Metoda obwodowa jest dwiema
względem ze względu na wpływ
resystancji przewodów doprowadzających. $U = U_{RT} + 2U_K$; $R_T = R_F + R_K$?

Metoda trzy-przewodowa



Metoda z kompensacją na skutek
wykonania dwóch pomiarów.

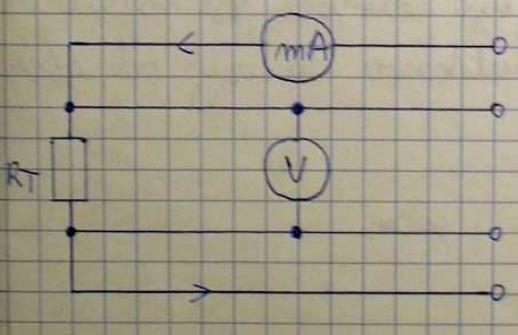
$$a) U_a = U_K$$

$$b) U_b = U_{RT} + U_K$$

$$U_{RT} = U_b - U_a$$

metoda ta wymaga aby wszystkie
żółte doprowadzenia były identyczne

Metoda cztero-przewodowa



Metoda nie wymaga kompensacji.

Za względem na długą resystancję
woltomierza cały przed pomiarowym
przewód przechodzi przez mierzącą
resistancję.

$$R_T = \frac{U}{I}$$

2 d) Brzmiały temperatury metodą dwa-przewodową obarczone są błędami addytywnymi. Ponadtem występowanie tych błędów jest niezawarte wartością rezystancji przewodów doprowadzających. Jednak w przypadku wykorzystania czujników PT100 do pomiaru energii cieplnej dopuszczalne jest zastosowanie metody 2-przewodowej pod warunkiem że przewody łączące czujnik z przygotowanym pomiarowym mają taką samą rezystancję (w praktyce oznacza to że przewody powinny mieć tę samą długość, ten sam przekrój poprzeczny, wykonane z tego samego materiału oraz „być” w tej samej temperaturze). Możliwość zastosowania metody 2-przew. wynika z faktu iż w przypadku energii cieplnej nie jest istotna sama temperatura zimnej czy ciepłej wody ale różnica tych temperatur. Dlatego, jeśli rezystancje przewodów łączących są takie same to ich wpływ na pomiar różnicę temperatur skompensuje się.

2 e) Współczynnik k , zwany stażą Stuck'a jest ilorazem gęstości i ciepła właściwego. Jego wartość jest różna dla różnych cieczy oraz dodatkowo zależy od różnicy temperatur ΔT .

$$P = k \cdot Q \cdot \Delta T \quad , \text{ gdzie:}$$

P - moc

Q - pueptływ

ΔT - różnica temperatur

Im większa wartość stałej Stuck'a, tym więcej energii jest w stanie ~~przenosić~~ przenieść przy tej samej różnicy temperatur ΔT .

2f) Pomiar będzie niepoprawny, ponieważ woda i olej transformatorowy posiadały różne gęstości oraz ciężka właściwość. Zatem state Stück'a dla wody i oleju będą różne.

2g) Różnice pomiędzy trybami pracy ASCII a RTU w RS485

• ASCII

- przesyłamy znaki ASCII
- początek: znak ":"
- koniec CR+LF
- zabezpieczenie LRC
- odstęp między znakami do 1 s

znak znak pozycji	adres	funkcja	dane	Kontrola LRC	znak znak konca
znak ":"	2 znaki	2 znaki	n znaków	2 znaki	2 znaki CR LF

• RTU

- przesyłamy bity
- początek czas około 4 cykli nadawania jednego znaku
- koniec taki sam jak początek
- zabezpieczenie CRC
- odstęp między znakami do 1,5·T, gdzie T-to czas dla 1 znaku

znak znak pozycji	adres	funkcja	dane	Kontrola CRC	znak znak konca
T1T2T3T4	8bitów	8bitów	n×8bitów	16bitów	T1T2T3T4

2 h)

RS232

- mała max. długość przesyłania
- max liczba wągów 2
- duża podatność na zakłócenia

RS485

- + duża max. długość przesyłania
- + max liczba wągów 32
- + duża podatność na zakłócenia

2 i)

$$P = \frac{\rho \cdot c \cdot Q \cdot \Delta T}{K}$$

Pomiar prędkości będzie realizowany dobrze. Ale wsp. strumień jest funkcją ΔT ($K = K(\Delta T)$). Zatem wsp. ten ulegnie zmianie co w efekcie spowoduje niepoprawny pomiar.

3a)

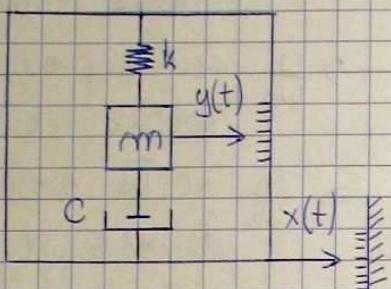
$$x(t) = X \sin \omega t$$

$$v(t) = \omega X \cos \omega t = V \cos \omega t$$

$$a(t) = -\omega^2 X \sin \omega t = -A \sin \omega t$$

$$\omega = 2\pi f$$

3b)



$$F_z = m \ddot{x}(t) - \text{siła ziemista}$$

$$F_t = -c y(t) - \text{siła tłumienia}$$

$$F_s = -k y(t) - \text{siła sprężystości}$$

$$\sum_i F = m a$$

$$F_z + F_t + F_s = m \ddot{y}(t)$$

$$m \ddot{x}(t) - c y(t) - k y(t) = m \ddot{y}(t)$$

$$-m \ddot{y}(t) - c y(t) - k y(t) = -m \ddot{x}(t) \quad | : -m$$

$$\ddot{y}(t) + \frac{c}{m} \dot{y}(t) + \frac{k}{m} y(t) = \ddot{x}(t) \quad | \cdot \omega$$

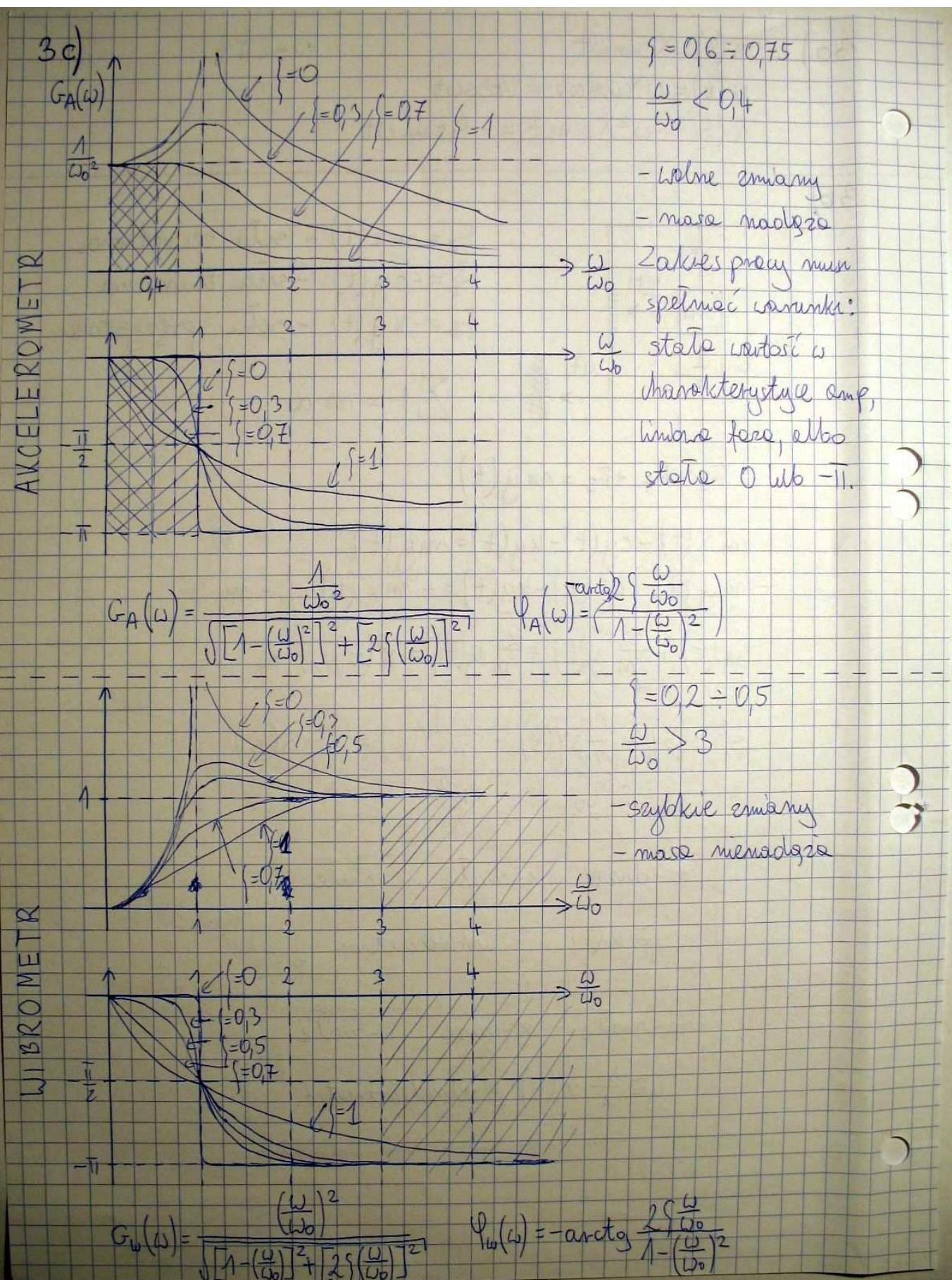
$$s^2 Y(s) + \underbrace{\frac{c}{m} s Y(s)}_{2\zeta\omega_0} + \underbrace{\frac{k}{m} Y(s)}_{\omega_0^2} = s^2 X(s)$$

m - duże k - małe c - małe

$\tilde{y} \approx x(t)$ - vibrometr

m - małe k - duże c - małe

$\tilde{y} \approx \frac{m}{k} \ddot{x}(t)$ - akcelerometr



3d)

$$\frac{\Delta U_0}{U_2} = 0,0 \frac{mV}{V}$$

) 90°

$$\frac{\Delta U_0}{U_2} = 3,3 \frac{mV}{V}$$

$$S = \frac{\frac{\Delta U_0}{U_2}}{g} = \frac{3,3 \frac{mV}{V}}{3,81 \frac{m}{s^2}} = 0,357 \frac{mV}{\frac{m}{s^2}}$$

$$\frac{\Delta U_0}{U_2} = 0,0 \frac{mV}{V}$$

) 180°

$$\frac{\Delta U_0}{U_2} = 4 \frac{mV}{V}$$

$$S = \frac{\frac{\Delta U_0}{U_2}}{2 \cdot g} = \frac{4 \frac{mV}{V}}{2 \cdot 3,81 \frac{m}{s^2}} = 0,204 \frac{mV}{\frac{m}{s^2}}$$

3e)

$$A = 10 \frac{m}{s^2}$$

V - ?

$$f = 100 \text{ Hz}$$

X = ?

$$x(t) = X \cdot \sin \omega t$$

$$v(t) = X \omega \cos \omega t = V \cos \omega t$$

$$q(t) = -X \omega^2 \sin \omega t = -A \sin \omega t$$

$$A = X \omega^2 \Rightarrow X = \frac{A}{\omega^2} = \frac{10}{(2\pi \cdot 100)^2} = 2,53 \cdot 10^{-5} \text{ [m]}$$

$$V = X \cdot \omega \Rightarrow V = \frac{A}{\omega^2} \cdot \omega = \frac{A}{2\pi f} = \frac{10}{2\pi \cdot 100} = 1,59 \cdot 10^{-2} \text{ [m/s]}$$

3f)

$$f = 100 \text{ Hz}$$

$$f_0 = 400 \text{ Hz}$$

$$\zeta = 0,707$$

$$\tilde{\zeta} = ?$$

$$\tilde{\zeta} = \frac{G_{\text{rest}} - G(U, \omega_0)}{G_{\text{rest}}} = \frac{1}{\omega_0^2} - \frac{\frac{1}{(\frac{U}{\omega_0})^2}}{\sqrt{[1 - (\frac{U}{\omega_0})^2]^2 + [2 \zeta (\frac{U}{\omega_0})]^2}}$$

$$\tilde{\zeta} = \omega_0^2 \left[\frac{1}{\omega_0^2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{[1 - (\frac{U}{\omega_0})^2]^2 + [2 \zeta (\frac{U}{\omega_0})]^2}} \right) \right]$$

$$\tilde{\zeta} = 1 - \frac{1}{\sqrt{[1 - (\frac{U}{\omega_0})^2]^2 + [2 \zeta (\frac{U}{\omega_0})]^2}} \approx 2 \cdot 10^{-3} \Rightarrow 0,2\%$$

4b) Cenność emisji określona zależnością:

$$C_{ce} = \frac{M_s}{\frac{\Delta V_0}{V_2}}$$

$$\varepsilon_{45} = \frac{16}{\pi} \frac{D}{D^4 - d^4} \frac{1+V}{E} \cdot M_s$$

$$\frac{\Delta V_0}{V_2} = k \cdot \varepsilon_{45}$$

$$C_{ce} = \frac{M_s}{k \frac{16}{\pi} \frac{D}{D^4 - d^4} \frac{1+V}{E}} = \frac{\pi}{16k} \frac{D^4 - d^4}{D} \frac{E}{1+V}$$

$$C = C_{ce} \cdot C_w = 1$$

$$C_w = \frac{1}{C_{ce}} = \frac{1}{\beta_{std}} \cdot \frac{\left(\frac{\Delta V_0}{V_2} \right)_{std}}{\left(\frac{\Delta V_0}{V_2} \right)_{real}}, \text{ gdzie:}$$

β_{std} - mnożnik skali np 0,001

d_{std} - wartość nominalna wielkości mierzonej np 10000

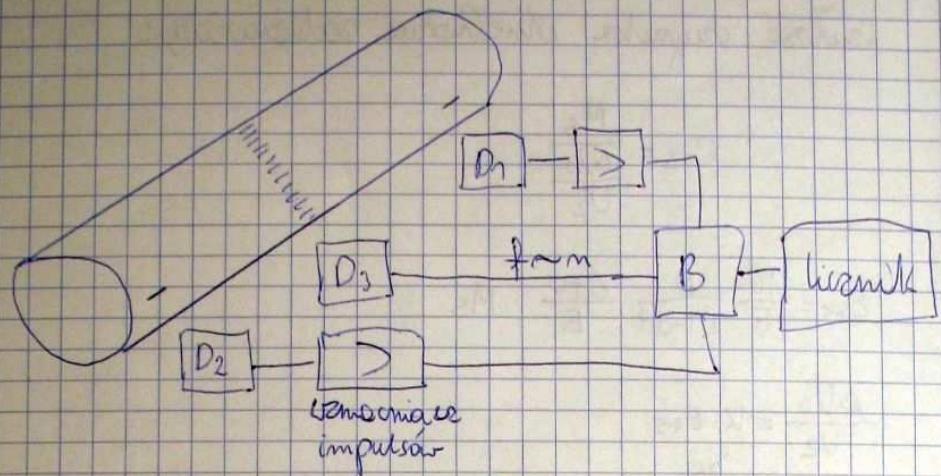
$\beta_{std} \cdot d_{std}$ - określona zakres pomiarowy wielkości mierzonej np 10

$\left(\frac{\Delta V_0}{V_2} \right)_{std}$ - nominalna wartość wielkości leg. komisji

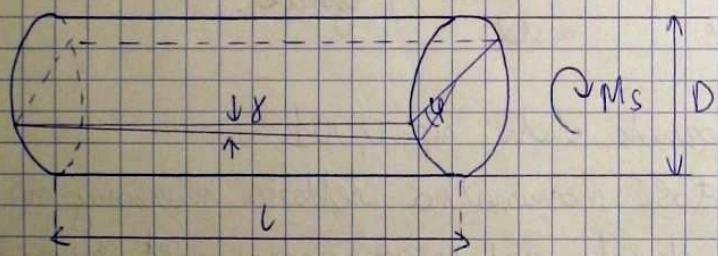
$$\left(\frac{\Delta V_0}{V_2} \right)_{std} = C_w \cdot \beta_{std} \cdot d_{std} = \frac{1}{C_{ce}} \beta_{std} \cdot d_{std}$$

$$\left(\frac{\Delta V_0}{V_2} \right)_{std} = \beta_{std} \cdot d_{std} \cdot \frac{16k}{\pi} \frac{D}{D^4 - d^4} \frac{1+V}{E}$$

4e)



4a)

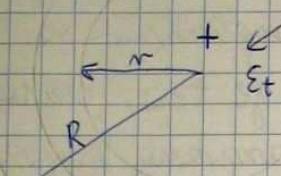


$$\gamma = \frac{E_{max}}{G}$$

$$q = \frac{l}{\frac{D}{2}} \cdot \gamma = 4 \cdot E_{45} \cdot \frac{l}{D}$$

5a)

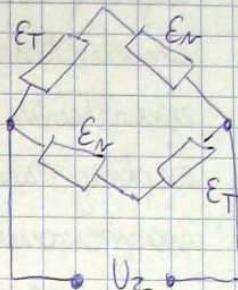
- odkształcenie radialne
odkształcenie tangentialne



zależność:

$$\frac{r}{h} < 0,5 \quad (\text{ugięcie grubości})$$

$$\frac{1}{50} \leq \frac{h}{R} \leq \frac{1}{5} \quad (\text{grubość promienia})$$

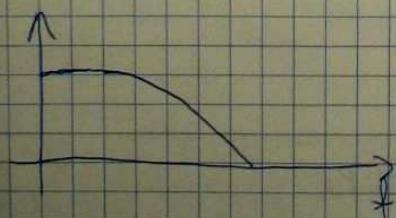


- nie wolno makiwać tensometrów radiacyjnych w odległości $r = \frac{R}{\sqrt{3}}$ od środka, gdyż zawsze wskazuje zero
- po jednej stronie membrany występuje dwa rodzaje odkształceń:
 - tangentialne (dodatnie)
 - radialne (ujemne)

5b) Rodzaje czujników membranowych:

- tensometryczne do 50 Hz
- pojemnościowe do 1 kHz
- piezoelektryczne do 100 kHz (nie przenoszą składowej stałej)
- przyczynemetryczne

5c) Czujnik membranowy działa jak swego rodzaju filtr dolno-przepustowy. Jego części mechanizmu (membrana) nie może dążyć nieskończonemu - szybko. Dodatkowym ograniczeniem jest przetwornik mechaniczny \rightarrow elektryczny. np. piezoelektryczny, nie przenosi składowej stałej. Sam w sobie czujnik membrany ogranicza częstotliwość do ok. 100 kHz.



5d) Bieg dymażący - to taki który powoduje opóźnienie reakcji układu. Czas osiągnięcia ustalonej wartości jest większy od zero.

Zmniejszanie przebiegu zmiennych temperatur w zjawiskiem naturalnym - przypisuje się je tzw. bezwiedniu i pełnej czujników. Odpowiedź skokowa małymane krytyczne mognowanie idealnego czujnika temperatury zanurzonego w badanym ośrodku o temperaturze T_0 , można określić ze pomocą wzoru:

$$T = T_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

Czujnik taki stanoi zatem zatem nazywany pierwszego rzędu o stałej czasowej:

$$\tau = \frac{m \cdot c}{S \cdot \alpha} \quad \text{gdzie: } c - \text{ciepło u. czujnika}$$

m - masa

S - powierzchnie wymiany ciepła

α - współczynnik przeniesienia ciepła

Jak widać wszystkie cztery wielkości m, c, S, α wpływają na stałą czasową.

W układach szybko-zmiennych temp. trzeba dojść do wykresu jak największych stałych czasowych.

5e) $T = \frac{1}{1+ST} \quad f = \frac{5}{\pi} \quad [Hz]$

$$G(s) = \frac{1}{1+St} \quad G(\omega) = \sqrt{\left[\frac{1}{1+(\omega T)^2}\right]^2 + \left[\frac{\omega T}{1+(\omega T)^2}\right]^2} = \sqrt{\frac{1+(\omega T)^2}{(1+(\omega T)^2)^2}}$$

$$\zeta = \frac{1 - G(2\pi f)}{1} = 1 - \sqrt{\frac{1+1^2}{(1+1^2)^2}} = 1 - \sqrt{\frac{2}{4}} = 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,29$$

29%

5f) $1Pa = 1 \frac{N}{m^2}$

$1bar = 100 000 Pa$

6a) Znajoc teoretyczne funkcje przetwarzania czujnika temp. np.

$$U = S_N \cdot T \quad , \text{ gdzie:}$$

S_N - to czułość czujnika

T - temperatura

U - napięcie na wyjściu czujnika

Mozemy przeprowadzić kalibrację dwupunktową, która polega na wyznaczaniu reprezentacyjnych wartości czułości i offsetu. Metoda ta polega na odczytaniu napięć U_1 i U_2 dla temperatur T_1 i T_2 . Tak, aby do sie wychodziły S i b , z układu równań:

$$\begin{cases} U_1 = S \cdot T_1 + b \\ U_2 = S \cdot T_2 + b \end{cases}$$

Sposoby skalowania dla czujników wielimowych:

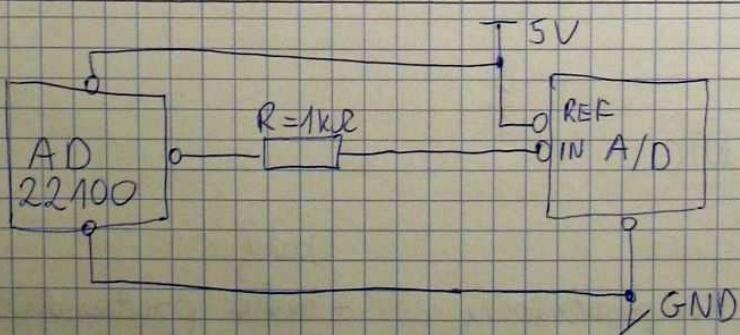
- aproksymacja

- interpolacja

- aproksymacje do funkcji wyższego rzędu

$$R = R_0 (1 + \alpha T + \beta T^2 + \gamma T^3 + \dots)$$

6b)



Wynik zależy od stosunku, nie jest zależny od napięcia rezystora.

6d)

Pt

- zakres pracy $-200^{\circ}\text{C} \div 800^{\circ}\text{C}$
- odporność na korozję
- ~~pozostałe~~ pożarozorne charakterystyki metrologiczne
- duży zakres liniowości

Cu

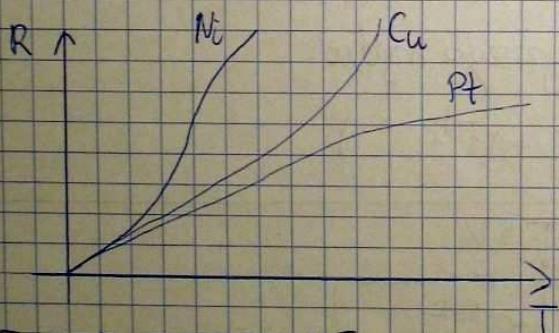
- zakres pracy $-50^{\circ}\text{C} \div 150^{\circ}\text{C}$
- mały zakres pracy
- utlenie się

Ni

- duży współczynnik temperaturowy
- duża odporność na zniszczenia chemiczne
- zakres pracy $-60^{\circ}\text{C} \div 180^{\circ}\text{C}$

6c)

Termowystąby metaliowe



- + dobry打仗动态
- + duży zakres liniowości szereg. Pt

Territory PTC, NTC

Zalety:

- + duży wsp. temperaturowy
- + duża rezytywność
- + małe wymiary

Wady:

- małe pożarozność i stałość parametrów
- duże melanżowisko
- niesztabilność rezysto

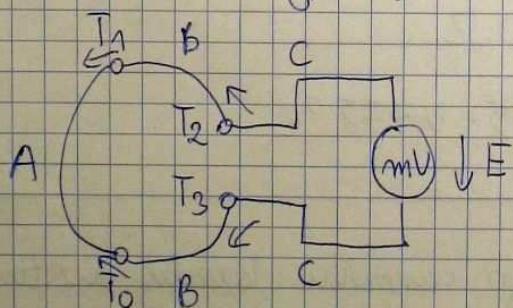
6e) Źródła błędów przy pomiarze temperatury:

- błąd definiacyjny (mierzymy temp. termometru)
- błąd kalibracji
- siły termoelektryczne
- wpływ rezystancji przewodów
- błąd metodą pomiaru rezystancji
- błąd od samopodgrzewania
- błąd dynamiczny

6f) Termowysztator platinowy o wartości 100Ω w 0°C
 $\pm 0,15^\circ\text{C}$ (klasa A) o czystości metaliu:

$$\frac{R_{100}}{R_0} = 1,386$$

6g) Jeżeli do obwodu termoelektrycznego stojonego z dwóch różnych metali A i B włożymy trzeci metal C to wypadkowa siła termoelektryczna obwodu nie ulegnie zmianie, jeśli koniec metalu C mała tę samą temperaturę.

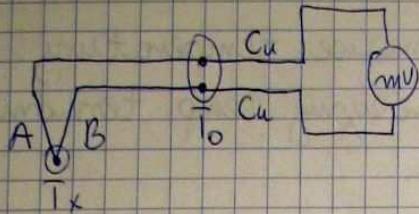


$$E = e_{AB}(T_1) + e_{BC}(T_2) - e_{AB}(T_0) - e_{BC}(T_3) \quad \text{jeli } T_3 = T_2$$

~~$$E = e_{AB}(T_1) + e_{BC}(T_2) - e_{AB}(T_0) - e_{BC}(T_2)$$~~

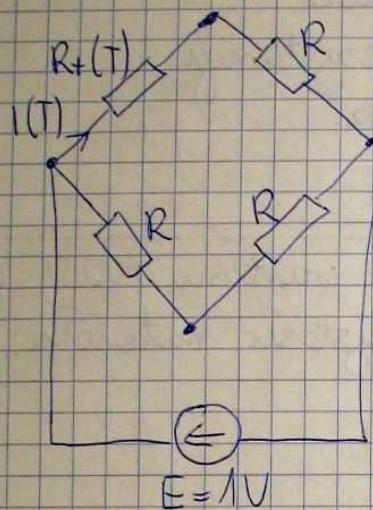
$$E = e_{AB}(T_1) - e_{AB}(T_0)$$

6h)



$$E \sim (T_x - T_0)$$

6i)



$$c = 0,35^{\circ}\text{C}/\text{mW}$$

$$R = 100\Omega \quad R_t - P_t / 100$$

$$I(T) = \frac{E}{R_t(T) + R}$$

$$P_t(T) = I^2 \cdot R_t(T)$$

$$P_t(T) = \frac{E^2 \cdot R_t(T)}{(R_t(T) + R)^2} \quad [\text{W}]$$

$$\Delta T(T) = P_t(T) \cdot 1000 \cdot c = \frac{E^2 \cdot R_t(T)}{(R_t(T) + R)^2} \cdot 1000 \cdot c$$

dla $T = 0^{\circ}\text{C} \rightarrow R_t = 100\Omega$

$$\Delta T = \frac{1^2 \cdot 100}{(100+100)^2} \cdot 1000 \cdot 0,35 = 0,875^{\circ}\text{C}$$

dla $T = 250^{\circ}\text{C} \rightarrow R_t \approx 200\Omega$

$$\Delta T = \frac{1^2 \cdot 200}{(200+100)^2} \cdot 1000 \cdot 0,35 = 0,778^{\circ}\text{C}$$

6j)

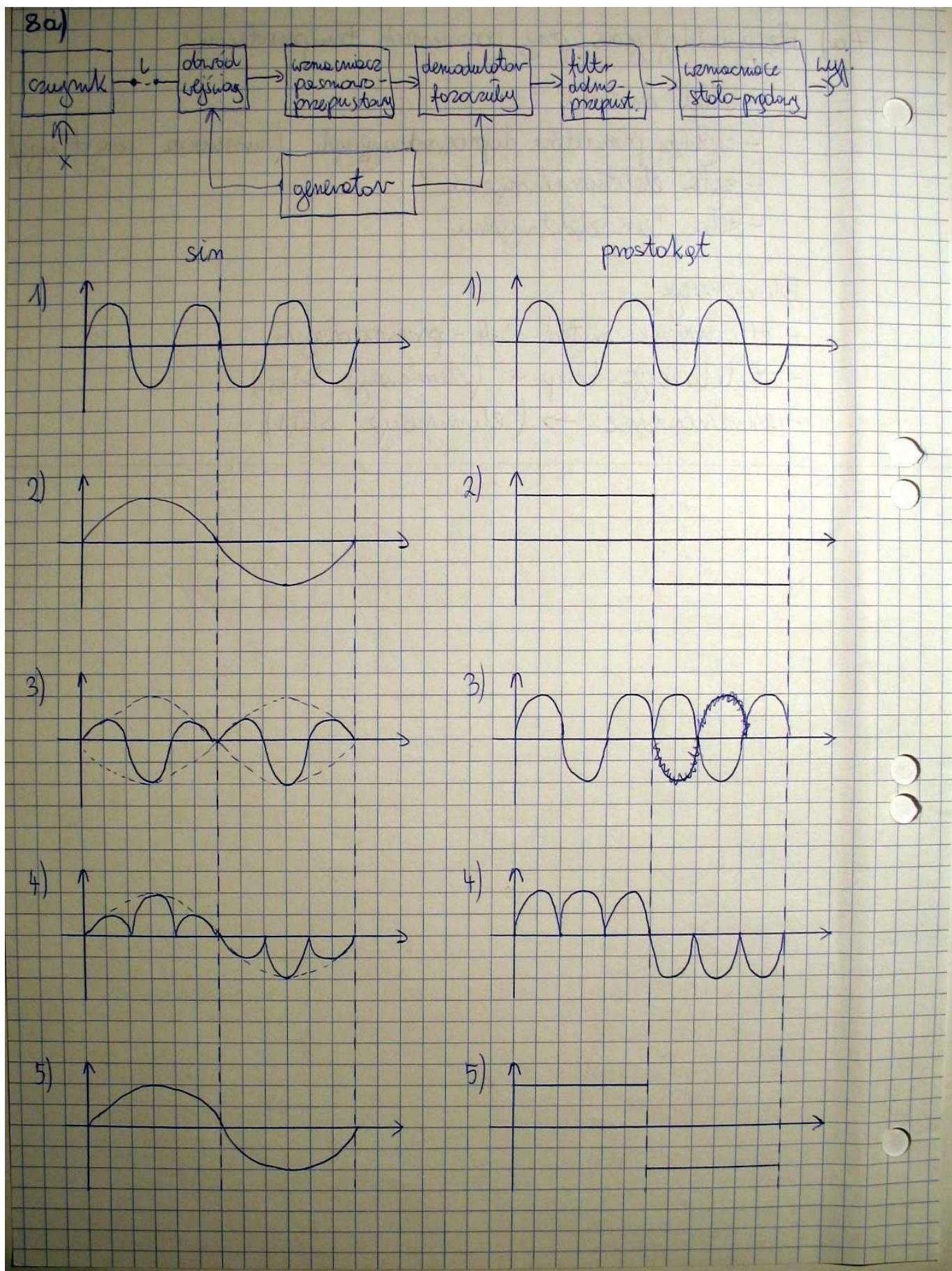
W przypadku pierwszego czujnika każdy dostarczony [mW] mocy sprawiaje błąd $0,35^{\circ}\text{C}$. Natomiast drugi $0,7^{\circ}\text{C}$. Tak więc po wymianie czujnika składającego błędu od samopodgrzewania wzrośnie dwukrotnie.

7a) Błędy addytywne przy pomiarach temperatury:

- błąd metody
- wpływ przewodów doprowadzających (mierzona rezystancja)
- siła elektromotoryczna
- siła termoelektryczna

Eliminacje

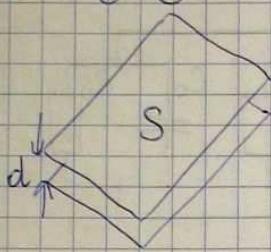
- stosowanie metod 3/4 - przewodowych
- stabilizacja temp. \rightarrow (eliminacje STE)
- ekranowanie \rightarrow (eliminacje SEM)



DODATEK NA EGZAMIN

a)

zwykły



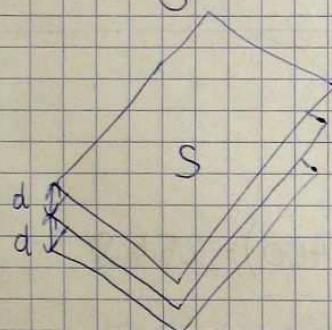
$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

po przesunięciu:

$$C_2 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d + \Delta d}$$

$$\frac{C}{C_2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} \cdot \frac{d + \Delta d}{\epsilon_0 \epsilon_r S} = \frac{d + \Delta d}{d} = 1 + \frac{\Delta d}{d}$$

różnicowy



$$C_0 = C_g = 6d = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

po przesunięciu

$$C_{gz} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d + \Delta d}$$

$$C_{dz} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d - \Delta d}$$

$$\Delta C = C_{dz} - C_{gz} = \epsilon_0 \epsilon_r S \left(\frac{1}{d - \Delta d} - \frac{1}{d + \Delta d} \right) = \epsilon_0 \epsilon_r S \left(\frac{(d + \Delta d) - (d - \Delta d)}{(d - \Delta d)(d + \Delta d)} \right)$$

$$\Delta C = \epsilon_0 \epsilon_r S \frac{2\Delta d}{d^2 - \Delta d^2} = 2\epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d} \frac{\frac{\Delta d}{d}}{1 - (\frac{\Delta d}{d})^2} \quad \text{jedeli } \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 \ll 1$$

$$\Delta C = 2 \underbrace{\epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}}_{C_0} \cdot \frac{\Delta d}{d} = 2 C_0 \frac{\Delta d}{d}$$

- Oznaczenia różnicowe w porównaniu do zwykłych ozn. pojemności
- większa czułość
 - likwiduje składową stałą
 - kompensuje wielkości zatkoczące
 - liniowe (dla pełnego zakresu)

b)

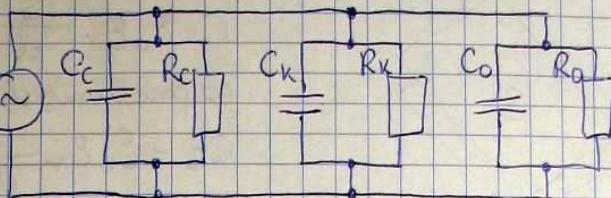
$$C_C = 1 \text{ mF}$$

$$C_{km} = 0,5 \text{ mF} \quad C_{kp} = 0,5 \cdot 1,05 = 0,525 \text{ mF}$$

$$C_{zm} = 1,5 \text{ mF}$$

$$C_{zp} = 1,525 \text{ mF}$$

$$C = \frac{Q}{U} \Rightarrow U = \frac{Q}{C}$$



$$Q = \text{const}$$

$$\delta = \frac{U_m - U_p}{U_m} \cdot 100\% = \frac{\cancel{Q}}{C_{zm}} - \frac{\cancel{Q}}{C_{zp}} \cdot 100\% = \frac{C_{zp} - C_{zm}}{C_{zp}} \cdot 100\% = 1,64\%$$

c)

$$R_w = 247,04 \Omega$$

$$T = 400^\circ \text{C}$$

$$\mathcal{L} = 0,00385$$

$$R_0 = 100 \Omega$$

$$R_{400} = R_0 \left(1 + \mathcal{L} \cdot T \right) = 100 \left(1 + 0,00385 \cdot 400 \right) = 254 \Omega$$

$$\Delta R = R_{400} - R_w = 6,96 \Omega$$

$$\beta = \frac{\Delta R}{R_w} \cdot 100\% = 2,82\%$$

d)

$$f = 100 \text{ Hz}$$

$$f_0 = 400 \text{ Hz}$$

$$\zeta = 0,707$$

$$\delta = \frac{G_u - G(\omega, \omega_0)}{G_u} = \frac{1}{\omega^2} - \frac{\frac{1}{\omega_0^2}}{\sqrt{[1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2]^2 + [2\zeta(\frac{\omega}{\omega_0})]^2}}$$

$$\delta = \omega^2 \left[\frac{1}{\omega^2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{[1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2]^2 + [2\zeta(\frac{\omega}{\omega_0})]^2}} \right) \right] = 1 - \frac{1}{\sqrt{[1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2]^2 + [2\zeta(\frac{\omega}{\omega_0})]^2}}$$

$$\delta \approx 2 \cdot 10^{-3} \Rightarrow 0,2\%$$