

Exercice 1 : (5pts)

Une sonde thermométrique Pt100 de précision délivre une tension $V_{mes}(T)$ fonction de la température T (exprimée en °C). Pour étalonner cette sonde, on la place dans une enceinte thermostatée dont on fait varier la température sur l'étendue de mesure E.M. = [0°C ; 40°C].

Les résultats des mesures sont donnés dans le tableau suivant.

$T^{\circ}C$	3.35	8.80	11.66	17.66	22.12	30.11	31.83	36.44	38.81	39.86
$V_{mes}(mV)$	26	83	120	168	215	302	328	355	390	390

Sur l'étendue de mesure E.M., on cherche à modéliser le comportement de la sonde par l'approximation linéaire $V_{mes} = V_{mes0} + \alpha T$.

- 1- Déterminer les valeurs de V_{mes0} et α obtenues à partir des N points expérimentaux (T_i, V_{mesi}) en utilisant la méthode des moindres carrées.
- 2- Estimer la sensibilité $S = \frac{dV_{mes}}{dT}$.
- 3- Calculez l'erreur de linéarité.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum x_i \sum y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2}$$

$$V_{mes0} = \frac{1}{n} \sum y_i - \frac{\alpha \sum x_i}{n}$$

Exercice 2 : (5pts)

On considère le montage en quart de pont de la figure (1) où R_c représente la résistance d'un capteur résistif du mesurande m. Le pont est alimenté par une source de tension de force électromotrice $V_g = 10V$ et de résistance interne R_g négligeable.

On donne $R_c(m_0) = R_1 = R_2 = R_3 = 100\Omega$.

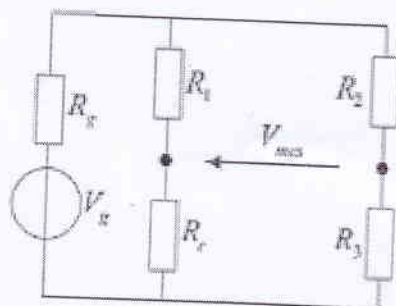


Figure (1)

- 1- Donnez l'expression de ΔV_{mes} non linéaire en fonction de $R_{c0}, V_g, \Delta R_c$.
 - 2- Citez brièvement les différentes méthodes de linéarisation du circuit de conditionnement du capteur.
- On considère le circuit de linéarisation de la figure (2), auquel on injecte la tension ΔV_{mes} .
- 3- Donner l'expression de V_s en fonction de $\Delta V_{mes}, V_o, V_g$, et ΔR_c .
 - 4- En déduire la valeur à donner à V_o pour que le conditionnement soit linéaire.

Corrigé type de l'EMD Instr72

Exercice 1 : (5pts)

- 1- Déterminons les valeurs de V_{mes0} et α en utilisant la méthode des moindres carrés :

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum x_i \sum y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2} = 10.02 \text{ mV} \cdot \text{°C}^{-1} \quad \underline{\underline{1.5pts}}$$

$$V_{mes0} = \frac{1}{n} \sum y_i - \frac{\alpha \sum x_i}{n} = 4.039 \quad \underline{\underline{0.5pts}}$$

- 2- La sensibilité représente la pente de la droite de régression, c'est-à-dire :

$$\alpha = S = 10.02 \text{ mV} \cdot \text{°C}^{-1} \quad \underline{\underline{1pt}}$$

- 3- Calculons l'erreur de linéarité :

On détermine d'abord l'écart de linéarité $\varepsilon = \text{Max}|V_{\text{valeur mesurée}} - \text{valeur théorique}|$
1pt

L'erreur de linéarité est alors donnée par la relation : $err = \frac{\varepsilon}{V_{mes(39.86)} - V_{mes(3.35)}}$
1pt

Exercice 2 : (5pts)

- 1- Donnons l'expression de ΔV_{mes} en fonction de R_{c0} , V_g , ΔR_c :

$$\Delta V_{mes} = \frac{V_g}{4} \frac{\Delta R_c}{R_{c0}} \frac{1}{1 + \frac{\Delta R_c}{R_{c0}}} \quad \underline{\underline{1pt}}$$

- 2- Les différentes méthodes de linéarisation du circuit de conditionnement du capteur sont : 1.25pts

- Le montage push- pull où il faut placer deux capteurs identiques ayant des variations opposées dans deux branches contigus d'un pont.
- Une linéarisation par réaction sur la tension de déséquilibre du pont.
- Une linéarisation par double réaction sur la tension de déséquilibre et sur la tension d'alimentation du pont.
- Linéarisation par multiplication et sommation.
- Linéarisation par division.

- 3- Donnons l'expression de V_s en fonction de ΔV_{mes} , V_o , V_g , et ΔR_c :

$$V = \frac{\Delta V_{mes} V_s}{V_o}$$

$$V_S = \Delta V_{mes} + V$$

$$V_S = \Delta V_{mes} + \frac{\Delta V_{mes} V_S}{V_0}$$

$$V_S = \frac{\Delta V_{mes}}{1 - \frac{\Delta V_{mes}}{V_0}} \quad \underline{1pt}$$

4- On remplace ΔV_{mes} par son expression trouvée dans la question 1 :

$$V_S = \frac{V_g}{4} \frac{\Delta R_c}{R_{c0}} \frac{1}{1 + \frac{\Delta R_{c0}}{2R_{c0}} \left[1 - \frac{V_g}{2V_0} \right]}$$

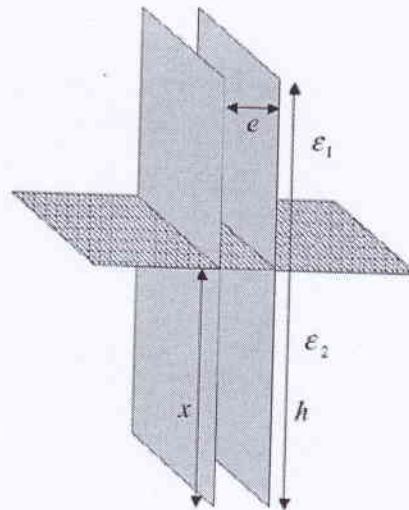
Le conditionnement est linéaire si $V_0 = \frac{V_g}{2} \Rightarrow V_S = \frac{V_g}{4} \frac{\Delta R_c}{R_{c0}} \quad \underline{1pt}$

5- Déterminons la sensibilité S_{cond} du conditionneur :

$$6- S_{cond} = \frac{V_S}{\Delta R_c} = \frac{V_g}{4R_{c0}} \quad \underline{0.75pts}$$

Exercice 3 : (10pts)

1- Déterminons l'expression du condensateur équivalent $C(x)$:



Le condensateur $C(x)$ est l'équivalent de deux condensateurs plans en parallèle : un condensateur de capacité C_1 , de surface S_1 et dont le diélectrique est de permittivité ϵ_1 et un condensateur de capacité C_2 , de surface S_2 et dont le diélectrique est de permittivité ϵ_2 .

$$C(x) = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_1 S_1}{e} + \frac{\epsilon_2 S_2}{e} = \frac{\epsilon_1}{e} (h-x) \frac{S}{h} + \frac{\epsilon_2}{e} x \frac{S}{h}$$

$$= \frac{\epsilon_1 S}{e} + \frac{S}{eh} (\epsilon_2 - \epsilon_1) x = \frac{\epsilon_1 S}{e} \left[1 + \left(\frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_1} \right) \frac{x}{h} \right] = C_0 (1 + Kx)$$

3pts

Avec :
$$K = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_1 \times h}$$

- 2- Calculons les capacités minimale ($x=0$) et maximale ($x=h$) du capteur ainsi que les impédances correspondantes :

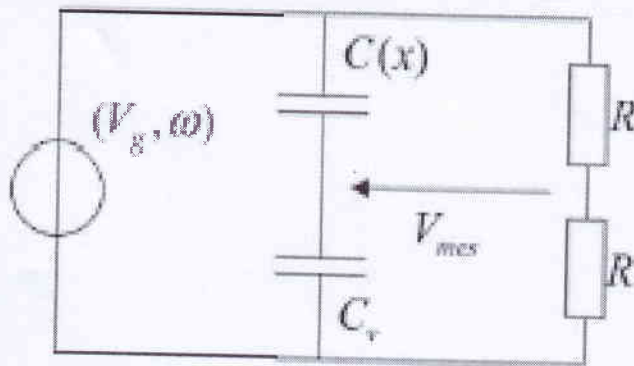
$$C_{min} = C(x=0) = C_0 = \frac{\epsilon_1 \times S}{e} = 35.4 pF \quad \underline{0.75pts}$$

$$C_{max} = C(x=h) = \frac{\epsilon_2 \times S}{e} = 141.6 pF \quad \underline{0.75pts}$$

En régime permanent sinusoïdal, le capteur a une impédance : $Z_c(x) = \frac{1}{j C(x)\omega}$

$$Z_c(x=0) = \frac{1}{C_0\omega} = 449.6 k\Omega ; \underline{0.75pts} \quad Z_c(x=h) = \frac{1}{C_0\omega} = 112.4 k\Omega \quad \underline{0.75pts}$$

- 3- Soit le circuit de conditionnement :



- donnons l'expression de la tension V_{mes} :

$$V_{mes} = \left(\frac{Z_0}{Z_c + Z_0} - \frac{1}{2} \right) V_g = \frac{C(x) - C_0}{C(x) + C_0} \frac{V_g}{2}$$

$$V_{mes} = \frac{kx}{2+kx} \frac{V_g}{2} = kx \frac{V_g}{4} \frac{1}{1+\frac{kx}{2}} \quad \underline{2pts}$$

La relation est donc non linéaire.

- 4- Le phénomène le plus gênant qui peut entacher la mesure est lié à la viscosité de l'huile. Celle-ci peut former une couche résiduelle à la surface des armatures simulant par là une cuve non vide. On peut améliorer le procédé en réglant la valeur de C_v à chaque fois que l'on est certain que la cuve est vide. 2pts

Pr S.TIZI