

| UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN - MOHAMMED BOUDIAF | | |
|--|----------------------------|---------------------------------|
| Faculté de Génie électrique | Département d'électronique | L2 S4 |
| Génie Biomédical | TD n°1 | Capteurs de Grandeurs Physiques |

Exercice 1 : Dans une installation de mesure, plusieurs capteurs ont été installés et étalonnés comme suit :

- capteur de pression : 30 cm Hg donne 20 mA , 10 cm Hg donne 4 mA
- capteur de niveau : 20 m donne 5 Vcc , 0,5 m donne 1 Vcc
- capteur de température : 120 °C donne 20 mA , -40°C donne 4 mA

1. Quelle est la sensibilité de chaque capteur ?
2. Ecrire l'équation d'étalonnage linéaire $y = ax + b$, permettant de connaître la valeur des sorties en fonction des entrées.
3. Quel est le courant mesuré à la sortie du capteur de température à 0 °C ?
4. Que devrait être la sortie du capteur de niveau avec un niveau de 10 m ?

Exercice 2 : L'étalonnage d'un capteur de température a donné l'équation suivante :

$$s(V) = 0,25 (V/^{\circ}C) \times T(^{\circ}C) - 3(V)$$

1. Donner la sensibilité de ce capteur.
2. Est-ce que ce capteur est linéaire, pourquoi ?

Exercice 3 : Un capteur est étalonné dans un environnement à une température de 21°C. Les caractéristiques déflexion/charge sont illustrées dans le tableau suivant:

| | | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Charge (kg) | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 |
| Déflexion (mm) | 0,0 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 |

Tableau 1. Caractéristiques déflexion/charge à 21°C

Quand il est utilisé à 35°C, ses caractéristiques changent comme suit:

| | | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Charge (kg) | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 |
| Déflexion (mm) | 0,2 | 1,3 | 2,4 | 3,5 | 4,6 |

Tableau 2. Caractéristiques déflexion/charge à 35°C

1. Déterminer la sensibilité du capteur à 21°C et 35°C. Que remarquez-vous?
2. Calculer le décalage à zéro et l'écart de sensibilité à 35°C.

Exercice 4 : Un capteur mesure une grandeur physique G homogène à un intervalle de temps de mesure t . La grandeur de sortie est i_s compris entre 4mA et 20mA. Le lien entre ces deux grandeurs est :

$$i_s = 6.10^{-5}.t^2 + 3.10^{-2}.t + 3,6.10^{-3} \quad \text{Avec : } i_s \text{ en A et } t \text{ en secondes}$$

1. Dans cette expression, quel est le mesurande ?
2. Quelle est l'expression de la sensibilité S ?
3. Quelles sont la valeur maximum t_M et la valeur minimum t_m de t accessible par la mesure avec ce capteur ?
4. Pour quelle valeur de t_I la sensibilité est-elle maximale ? Quelle est sa valeur S_M en $\mu A/ms$?

Exercice 5 : Lors de l'étalonnage d'un capteur, le constructeur relève les points expérimentaux donnant la relation entre le signal d'entrée et le signal de sortie :

| | | | | | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Entrée | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Sortie | 0,45 | 1,06 | 1,37 | 2,01 | 2,56 | 3,12 | 3,42 | 3,85 | 4,49 | 5,12 |

1. Tracer le graphe défini par ces points et tracer approximativement la "meilleure" droite passant par ces points.
2. La relation nominale entre l'entrée et la sortie fournit par le constructeur est :

$$S = G_n.E + S_{on}$$

où G_n est la pente nominale $G_n = 0,5044$

S_{on} est le décalage nominal $S_{on} = -0,0293$

Justifier ces paramètres.

3. Calculer l'écart maximal de linéarité et l'erreur relative de linéarité.

Corrigé :

Exercice 1 :

1. $S = \Delta s / \Delta m$, $S_1 = 0,8 \text{ mA/cm Hg}$, $S_2 = 0,205 \text{ V/m}$, $S_3 = 0,1 \text{ mA/}^\circ\text{C}$

2. $y = ax + b$ avec $a = S$ et $b = (y_1 - ax_1)$ (équation affine)

$y(\text{mA}) = 0,8 (\text{mA/cm Hg}) \cdot x(\text{cm Hg}) - 4 (\text{mA})$

$y(\text{V}) = 0,205 (\text{V/m}) \cdot x(\text{m}) + 0,89 (\text{V})$

$y(\text{mA}) = 0,1 (\text{mA/}^\circ\text{C}) \cdot x(^\circ\text{C}) + 8 (\text{mA})$

3. $s_1 = 8 \text{ mA}$ (décalage à zéro ou offset)

4. $s_2 = 2,94 \text{ Vcc}$.

Exercice 2:

1. $S = ds/dm = 0,25 \text{ V/}^\circ\text{C}$

2. Oui, parce que la sensibilité est constante.

Exercice 3 :

1. A 21°C : A partir de n'importe quel paire de points on aura : $S = 0,02 \text{ mm/kg}$

A 35°C : $S = 0,023^\circ\text{C mm/kg}$

N.B. : A vraie dire, ce capteur est plutôt un corps d'épreuve qu'un capteur (entrée et sortie sont des grandeurs physiques).

2. Décalage à zéro (offset) : $0,2 \text{ mm}$.

Ecart de sensibilité : $(S_{35^\circ\text{C}} - S_{21^\circ\text{C}}) / S_{21^\circ\text{C}} = (0,023 - 0,02) / 0,02 = 0,15 = 15\%$

Exercice 4 :

1. Il s'agit d'un corps d'épreuve de mesurande primaire t et secondaire G .

2. $S (\text{A/s}) = 12 \cdot 10^{-5} (\text{A/s}^2) \cdot t(\text{s}) + 3 \cdot 10^{-2} (\text{A/s})$

<http://grapheur.cours-de-math.eu/>

3. On résout l'équation $0,004 = 6 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 3 \cdot 10^{-2} \cdot t + 3,6 \cdot 10^{-3} \Rightarrow t_m = 0,013 \text{ s}$ ($t = -500\text{s}$ rejetée)

$0,02 = 6 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 3 \cdot 10^{-2} \cdot t + 3,6 \cdot 10^{-3} \Rightarrow t_M = 0,55\text{s}$ ($t = -500\text{s}$ rejetée)

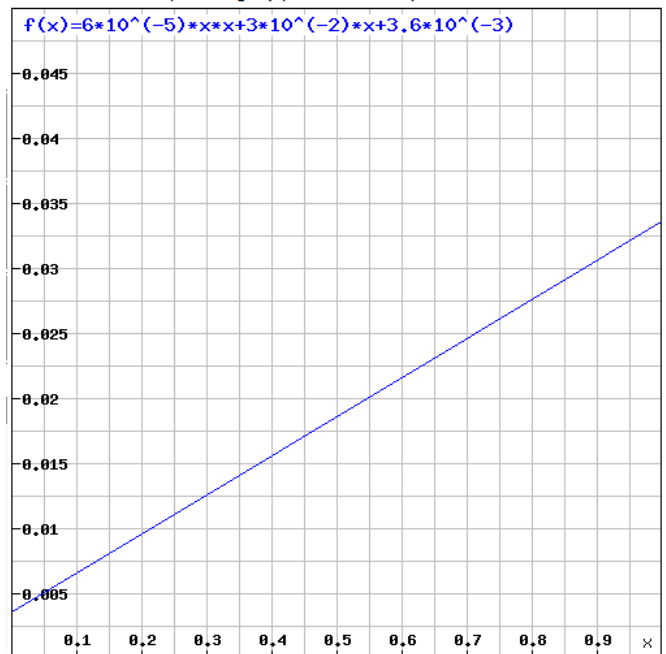
<http://fr.numberempire.com/equationsolver.php>

4. A partir de l'expression de la sensibilité : $S (\text{A/s}) = 12 \cdot 10^{-5} (\text{A/s}^2) \cdot t(\text{s}) + 3 \cdot 10^{-2} (\text{A/s})$

On établit la dérivée première de S par rapport au mesurande : $dS/dt = 12 \cdot 10^{-5}$

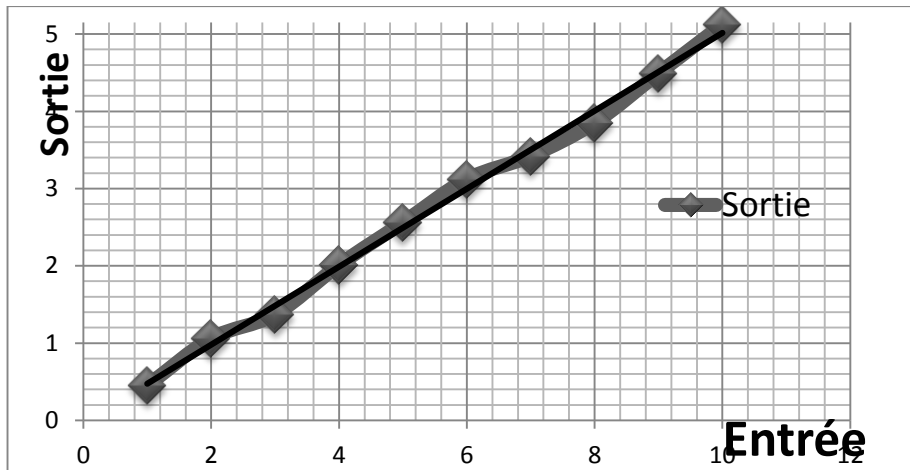
ensuite, on cherche les valeurs de t pour lesquelles dS/dt s'annule dans le domaine de définition $[t_m, t_M]$: $dS(t_{\text{max}})/dt = 0$

Dans cet exemple dS/dt ne s'annule jamais $\Rightarrow \forall t, S_M = \text{Cte} = 12 \cdot 10^{-5} \text{ A/s} = 12 \cdot 10^{-5} (10^6/10^3) \mu\text{A/ms} = 0,12 \mu\text{A/ms}$.



Exercice 5 :

1.



2.

A partir de l'équation de la meilleure droite (régression)

$$a = \frac{N \cdot \sum s_i \cdot m_i - (\sum s_i) \cdot (\sum m_i)}{N \cdot \sum m_i^2 - (\sum m_i)^2}$$

$$b = \frac{(\sum s_i) \cdot (\sum m_i^2) - (\sum s_i \cdot m_i) \cdot (\sum m_i)}{N \cdot \sum m_i^2 - (\sum m_i)^2}$$

| | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| N | 10 | | | | | | | | | |
| si x mi | 0,45 | 2,12 | 4,11 | 8,04 | 12,8 | 18,7 | 23,9 | 30,8 | 40,4 | 51,2 |
| som(si x mi) | 192,59 | | | | | | | | | |
| som(si) | 27,45 | | | | | | | | | |
| som(mi) | 55 | | | | | | | | | |
| mi ² | 1 | 4 | 9 | 16 | 25 | 36 | 49 | 64 | 81 | 100 |
| som(mi ²) | 385 | | | | | | | | | |
| (som(mi)) ² | 3025 | | | | | | | | | |
| Dénominateur | 825 | | | | | | | | | |
| a | 0,50442424 | | | | | | | | | |
| b | -0,0293333 | | | | | | | | | |

3.

| | | | | | | | | | | |
|---|-------|------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| Entrée | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Sortie | 0,45 | 1,06 | 1,37 | 2,01 | 2,56 | 3,12 | 3,42 | 3,85 | 4,49 | 5,12 |
| s _{rég} : Ordonnées de la régression (valeurs des entrées remplacées dans l'éq de la droite de régression) | 0,48 | 0,98 | 1,48 | 1,99 | 2,49 | 3 | 3,5 | 4,01 | 4,51 | 5,01 |
| Ecart de linéarité (s - s _{rég}) | -0,03 | 0,08 | -0,11 | 0,02 | 0,07 | 0,12 | -0,08 | -0,16 | -0,02 | 0,11 |

L'écart maximal de linéarité $|\Delta s_{max}| = \pm 0,16$ ($|\Delta y_{max}| = \max_n |y(n) - y_r(n)|$)

Erreur relative de linéarité : (ou erreur de linéarité)

$$|\Delta|_r (\% PSE) = \frac{|\Delta s_{max}|}{PSE} = \frac{|\Delta s_{max}|}{s_{max} - s_{min}} = \frac{\max_n |s(n) - s_r(n)|}{EM} \times 100$$

$$|\Delta|_r = \frac{0,16}{5,01 - 0,48} = \frac{0,16}{4,53} = 3,53 \% PSE$$