

TD 2: Systèmes linéaires

1 Mesure du flux lumineux avec une photodiode

Un montage simple permettant de mesurer un flux lumineux est représenté sur la figure 1. La photodiode se comporte comme un générateur de courant. Elle produit un courant proportionnel au flux lumineux reçu, c'est-à-dire $i = S_d \phi$, avec S_d la sensibilité de la diode (A W^{-1}) et ϕ le flux lumineux incident. On suppose que cette sensibilité ne dépend pas de la fréquence de variation de ϕ . Considérons le montage expérimental (figure 1.(a)). Celui-ci peut être considéré comme un système linéaire. Le signal d'entrée est ϕ , le signal de sortie est la tension V aux bornes de la résistance et que l'on peut aisément mesurer (oscilloscope, carte multifonctions, etc ...).

1.1 Etude du capteur

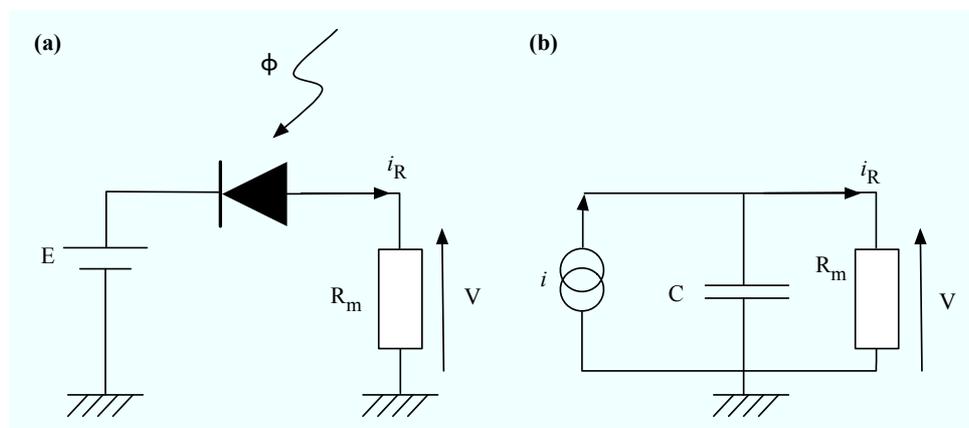


FIG. 1. (a) Montage expérimental — (b) Schéma équivalent

1. La photodiode est-elle un capteur actif ou passif? Pourquoi?
2. A partir du schéma équivalent de la figure 1.(b), donner l'équation caractéristique de ce système expérimental linéaire. Quel est son ordre?
3. En se plaçant en régime statique ou quasi-statique, déduire l'équation reliant le flux lumineux avec la tension mesurée. Définir le gain statique de ce dispositif.

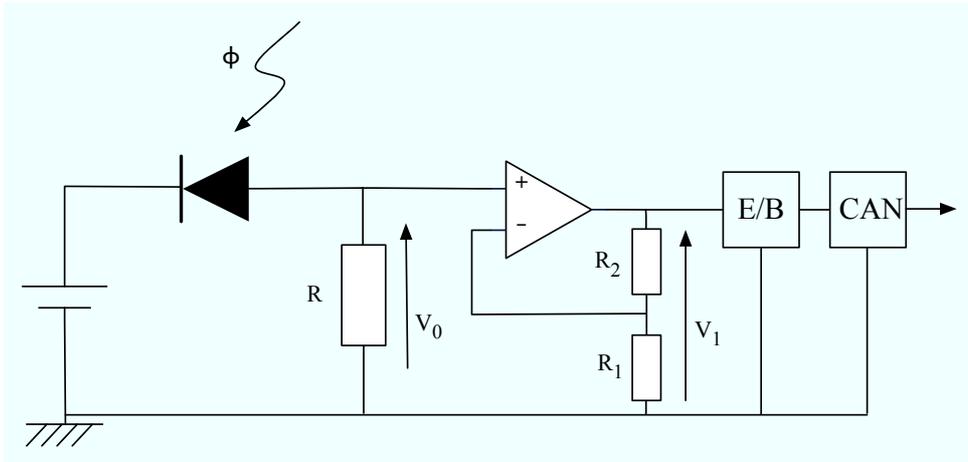


FIG. 2. Montage de la chaîne d'acquisition

4. On considère maintenant le régime variable. Calculer la réponse harmonique de ce système, et donner son gain dynamique G et sa réponse en phase φ en fonction de f et de la fréquence de coupure f_c telle que $G(f_c) = G_0/\sqrt{2}$.
Indices : écrire ϕ sous forme complexe ($\phi \rightarrow \bar{\phi} = \bar{\phi}_a e^{j\omega t}$, avec $\bar{\phi}_a$ l'amplitude complexe) et se rappeler que pour un système linéaire, la variable de sortie est de la même forme que la variable d'entrée.
5. Calculer la fréquence de coupure du système sachant que $R = 100\Omega$ et que la capacité de la photodiode est $C = 1 \text{ nF}$. Quelle est la perte à f_c ?
6. A quelle fréquence maximale peut-on utiliser ce dispositif pour une perte de moins de 1 % par rapport au gain statique nominal (bande passante à 1 %) ?
7. Calculer le temps d'établissement à 2 % de ce système.
8. Cette photodiode est destinée à mesurer un flux lumineux variable de la forme $\phi(t) = \phi_0 + \phi_1 \sin(2\pi ft)$ (en Watt, la fréquence f étant en Hz). Sachant que la sensibilité statique de la photodiode est $S_d = 1 \text{ mA W}^{-1}$, donner la valeur moyenne V_{0m} et l'amplitude V_{0a} de la tension de sortie V_0 en fonction de la fréquence, de ϕ_0 et de ϕ_1 .

Une chaîne d'acquisition (voir figure 2) est constituée d'une photodiode, d'un amplificateur à gain réglable, d'un échantillonneur/bloqueur (fréquence d'échantillonnage = 1 kHz) et d'un convertisseur analogique-numérique (qui code un signal de 0 à 10 V sur 8 bits). Cette chaîne est destinée à la mesure du flux lumineux sinusoïdal dans une zone inaccessible, située à 1 km de l'expérimentateur muni d'un ordinateur. Un câble sera donc utilisé pour transmettre le signal.

1.2 Transmission du signal par câble coaxial

1. La perte en tension dans un câble coaxial est de -0.0194 dB/m. Quelle sera la valeur de la tension continue maximale à la sortie du câble ?
2. Quelle sera la valeur de l'amplitude de la composante sinusoïdale de la tension de mesure ?

1.3 Amplificateur

Le signal est faible et il est nécessaire de l'amplifier pour réduire le bruit et faciliter l'acquisition.

1. Donner l'expression du gain en fonction de R_1 et R_2 . Sachant que $R_1 = 500\Omega$ et R_2 varie de 0 à $500\text{ k}\Omega$, quelles sont les valeurs minimale et maximale du gain ?
2. La figure 2 est incomplète car elle n'indique pas la présence du câble. A quel endroit doit-on placer l'amplificateur par rapport au câble ? Justifiez.

1.4 Echantillonnage et réglage de la chaîne

1. Quelle fréquence d'échantillonnage minimale faut-il utiliser pour l'acquisition de cette tension ? Quelle fréquence prendriez-vous ?
2. Sachant que le flux varie à une fréquence de xxxx Hz, et en utilisant la valeur moyenne et l'amplitude déterminées ci-dessus, calculer la valeur du gain pour que le signal soit correctement numérisé par le CAN. En déduire la valeur maximale de R_2 .

2 Détecteur de choc

Un accéléromètre est placé dans une voiture. Il est destiné à commander un airbag qui se déclenchera en cas de choc (figure 3). Pendant le choc, on considère que l'accélération a une valeur $\Gamma = \Gamma_0$ (en m s^{-2}) constante durant 100 ms (avant et après le choc, $\Gamma = 0 \text{ m s}^{-2}$, voir figure 4). Le curseur de l'accéléromètre est placé sur une résistance variable de 0.01 m de longueur (voir figure 5). Sans accélération, le curseur se trouve en $x=0$ m. La résistance est conditionnée par une alimentation en tension constante. Lors du choc, le curseur va se déplacer et entraîner une variation de tension à la sortie du capteur. Le temps de déplacement du curseur est court devant la durée du choc.

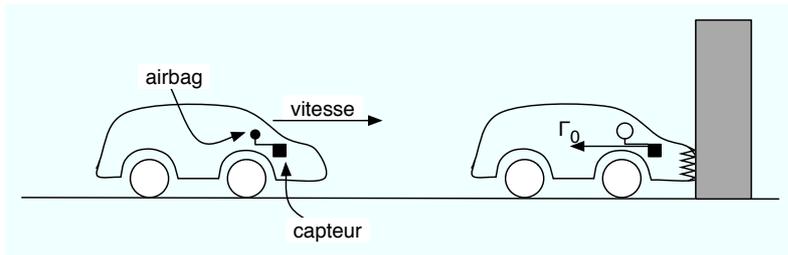


FIG. 3.

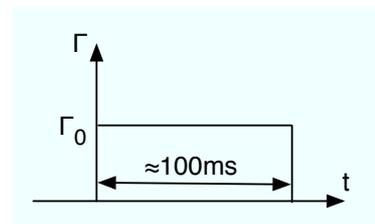


FIG. 4.

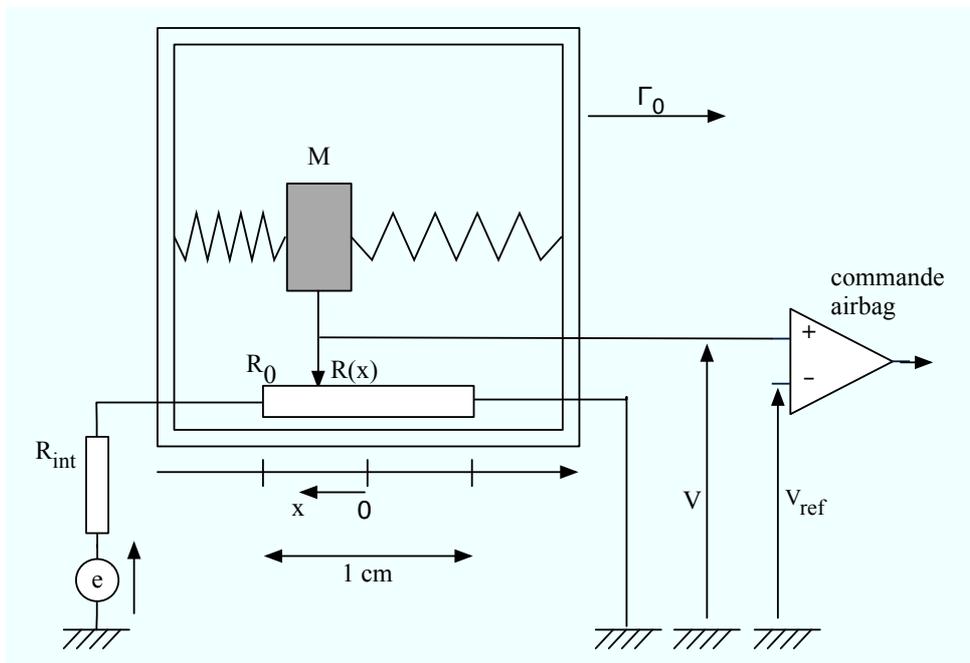


FIG. 5.

2.1 Performance du capteur

1. Est-ce un capteur actif ou passif ?
2. Donner l'équation décrivant le mouvement de M et en déduire l'équation décrivant le système. Quel est son ordre ?
3. Définir le gain statique du dispositif. Calculer la fréquence propre et le coefficient d'amortissement. (cf. feuille de rappel)
4. Calculer la masse M pour que le système ait un temps de réponse optimal (c'est-à-dire le plus rapide) sachant que la constante de raideur du ressort est $C = 10^3 \text{ N m}^{-1}$ et que le coefficient de frottement est $F = 5 \text{ kg}^{-1} \text{ s}$.
5. Avec cette valeur de masse, calculer le temps de réponse à 90 %. On rappelle que pour un système optimal, le temps de réponse est de $t_R = 2.4/\omega_0$.
6. Exprimer la valeur de la résistance $R(x)$ entre le curseur et la masse en fonction de la position du curseur x et de la valeur max de la résistance variable R_0 .
7. En déduire alors la sensibilité en régime statique du capteur.

2.2 Conditionnement du capteur

La résistance est alimentée par un générateur de tension parfait constant $e = 15 \text{ V}$. La résistance interne du générateur est 50Ω .

1. Exprimer la tension V en fonction de l'accélération γ dans le cas statique (c'est-à-dire que γ ne varie pas dans le temps).
2. Quelle est l'étendue de mesure en accélération du capteur ?

2.3 Gestion du signal

1. Expliquer et justifier le rôle de l'amplificateur opérationnel.
2. Quelle valeur de tension de référence V_{ref} faut-il appliquer pour commander l'ouverture de l'airbag sur un choc correspondant à une accélération de 100 m s^{-2} (accident à $\sim 60 \text{ km h}^{-1}$) ?