

## Instrumentation, Exercices

AUTEUR-RICE

Joseph Moerschell, Marc Nicollerat

### 1 Exercices sur les accéléromètres

Übungen zu Beschleunigungsmessern (unten)

#### 1.1 Accéléromètre capacitif

---

On a un accéléromètre capacitif constitué d'une masse sismique de masse  $m$  montée sur un ressort de coefficient  $K_r$ . L'air ambiant cause un amortissement  $K_f$  proportionnel à la vitesse de déplacement de la masse. La masse est un disque de diamètre  $d$  et d'épaisseur  $e$ .

La distance entre les électrodes externes et la masse est de  $x_0$  au repos. La masse est centrée entre les électrodes.

On soumet l'accéléromètre à une vibration sinusoïdale  $x = x_0 \sin(\omega t)$ .

La position est déduite de la mesure de capacité entre la masse et chacune des électrodes.

1. Quelle est la fréquence maximum de la vibration si veut rester 10x sous la fréquence propre du capteur ?
2. Quelle accélération maximum le capteur peut-il mesurer ?
3. Donner l'expression des capacités comme fonction du déplacement. Comment tirer profit des 2 valeurs pour augmenter la résolution ?

#### 1.2 Capteur Piézo-électrique

---

Un cristal piézo-électrique est construit avec un matériel qui a les propriétés suivantes dans une direction : - coefficient  $\beta$  exprimé en [C/mm/N] qui représente la charge induite par unité de force et de longueur du cristal. - perméabilité relative  $\epsilon_r$  du cristal - Un module d'élasticité  $E$  [N/m<sup>2</sup>]

On décide d'employer un cristal cylindrique, défini par une hauteur  $h$  et un diamètre  $d$ .

On aimerait générer une étincelle pour un briquet. Pour cela, la tension doit atteindre  $V_1$  volts. Le briquet comporte une gachette qui permet de tendre un ressort avec une masse  $m$  et de le relâcher d'un coup contre le cristal piézo-électrique. On a besoin que la force lors de l'impact soit suffisante pour créer une tension qui provoque l'étincelle. La charge électrique générée charge la capacité du cristal et crée ainsi une tension.

1. Calculer la sensibilité du cristal comme fonction de sa longueur et la capacité électrique comme fonction de la longueur et de la surface. Calculer la tension induite qui en résulte.
2. Comment choisir le rapport entre largeur et longueur ?
3. Quelle force est nécessaire pour créer la tension requise ?
4. En supposant que la masse arrive contre le cristal à une vitesse  $v_0$ , elle comprime le cristal jusqu'à l'arrêt. La force est maximum juste avant l'arrêt. A partir du calcul sur l'énergie stockée par la masse sur un ressort, écrivez une relation entre  $v_0$  et la force  $F$  juste avant l'arrêt.

5. Si la masse est chargée sur un ressort d'une course de 10mm avant d'être relâchée, quelle est la force nécessaire pour tirer la gachette ?

### 1.3 Equilibrage d'une roue

---

Une installation permet de faire tourner une roue de voiture. Le moteur est monté sur une suspension avec un accéléromètre. Un codeur incrémental permet d'avoir la position angulaire de la roue. Un index est utilisé pour repérer la position absolue.

Le moteur fait tourner la roue à une vitesse  $N[\text{rpm}]$ . Le compteur associé au codeur incrémental de  $S$  stries compte toutes les transitions des signaux A et B.

Le signal venant de l'accéléromètre est de forme sinusoïdale  $s(t) = V_0 \cdot \sin(\omega t)[V]$ . On a relevé que le compteur atteint une valeur  $M1$  lorsque le signal est en début de période ( $t = 0$ ).

On utilise un accéléromètre piézo-électrique de sensibilité  $S$  connecté à un amplificateur de charge de gain  $g[V/C]$ . Il est monté sur le moteur. L'ensemble d'entraînement a une masse  $m_E$ .

A quelle position  $M2$  du compteur faut-il placer une masse d'équilibrage, et de quelle grandeur ?

## 2 Übungen zu Beschleunigungsmessern

### 2.1 Kapazitiver Beschleunigungsmesser

---

Wir haben einen kapazitiven Beschleunigungsmesser, der aus einer seismischen Masse mit der Masse  $m$  besteht, die auf einer Feder mit dem Koeffizienten  $K_r$  montiert ist. Die Umgebungsluft verursacht eine Dämpfung  $K_f$ , die proportional zur Bewegungsgeschwindigkeit der Masse ist. Die Masse ist eine Scheibe mit dem Durchmesser  $d$  und der Dicke  $e$ .

Der Abstand zwischen den äußeren Elektroden und der Masse beträgt im Ruhezustand  $x_0$ . Die Masse ist zwischen den Elektroden zentriert.

Der Beschleunigungsmesser wird einer sinusförmigen Schwingung  $x = x_0 \sin(\omega t)$  ausgesetzt.

Die Position wird aus der Kapazitätsmessung zwischen der Masse und jeder der Elektroden abgeleitet.

1. Wie hoch ist die maximale Frequenz der Schwingung, wenn man 10x unter der Eigenfrequenz des Sensors bleiben will?
2. Welche maximale Beschleunigung kann der Sensor messen?
3. Geben Sie den Ausdruck der Kapazitäten als Funktion der Verschiebung an. Wie kann man die beiden Werte nutzen, um die Auflösung zu erhöhen?

### 2.2 Piezoelektrischer Sensor

---

Ein piezoelektrischer Kristall ist aus einem Material konstruiert, das in einer Richtung folgende Eigenschaften aufweist: - Koeffizient  $p_{sepsis}$ , ausgedrückt in  $[C/mm/N]$ , der die induzierte Ladung pro Kraft- und Längeneinheit des Kristalls darstellt. - relative Permeabilität  $\epsilon_r$  des Kristalls. - Ein Elastizitätsmodul  $E [N/m^2]$ .

Wir beschließen, einen zylindrischen Kristall zu verwenden, der durch eine Höhe  $h$  und einen Durchmesser  $d$  definiert ist.

Wir möchten einen Funken für ein Feuerzeug erzeugen. Dazu muss die Spannung  $V_1$  Volt betragen. Das Feuerzeug hat einen Abzug, mit dem man eine Feder mit einer Masse  $m$  spannen und mit einem Schlag gegen den piezoelektrischen Kristall loslassen kann. Wir brauchen eine Kraft beim Aufprall, die ausreicht, um eine Spannung zu erzeugen, die den Funken hervorruft. Die erzeugte elektrische Ladung lädt die Kapazität des Kristalls auf und erzeugt so eine Spannung.

1. Berechnen Sie die Empfindlichkeit des Kristalls als Funktion seiner Länge und die elektrische Kapazität als Funktion der Länge und der Oberfläche. Berechnen Sie die daraus resultierende induzierte Spannung.
2. Wie wählt man das Verhältnis von Breite zu Länge?
3. Welche Kraft ist erforderlich, um die erforderliche Spannung zu erzeugen?
4. Angenommen, die Masse trifft mit einer Geschwindigkeit  $v_0$  auf den Kristall, dann drückt sie den Kristall bis zum Stillstand zusammen. Die Kraft ist kurz vor dem Stillstand maximal. Schreibe ausgehend von der Berechnung der Energie, die die Masse in einer Feder speichert, eine Beziehung zwischen  $v_0$  und der Kraft  $F$  kurz vor dem Stillstand auf.
5. Wenn die Masse auf eine Feder mit einem Hub von 10 mm geladen wird, bevor sie losgelassen wird, welche Kraft ist dann erforderlich, um den Abzug zu ziehen?

### 2.3 Auswuchten eines Rades

---

Mit einer Anlage kann ein Autorad gedreht werden. Der Motor ist an einer Aufhängung mit einem Beschleunigungsmesser montiert. Mithilfe eines Inkrementalgebers wird die Winkelposition des Rades ermittelt. Ein Index wird verwendet, um die absolute Position zu markieren.

Der Motor dreht das Rad mit einer Geschwindigkeit von  $N[\text{rpm}]$ . Der dem Inkrementalgeber zugeordnete Zähler mit  $S$  Schlieren zählt alle Übergänge der Signale A und B.

Das Signal vom Beschleunigungsmesser hat die Sinusform  $s(t) = V_0 \cdot \sin(\omega t)[V]$ . Wir haben festgestellt, dass der Zähler einen Wert  $M_1$  erreicht, wenn sich das Signal am Anfang der Periode befindet ( $t = 0$ ).

Es wird ein piezoelektrischer Beschleunigungsmesser mit der Empfindlichkeit  $S$  verwendet, der an einen Ladungsverstärker mit der Verstärkung  $g[V/C]$  angeschlossen ist. Er ist am Motor angebracht. Die Antriebseinheit hat die Masse  $m_E$ .

An welcher Position  $M_2$  des Messgeräts muss eine Ausgleichsmasse angebracht werden, und wie groß ist sie?