

GEN-137 – C1	/90	GEN-137 – C2	/30
--------------	-----	--------------	-----

Session S1

**Unité 2 Profils d'accueil TI et TO Unité 3 Profil
d'accueil TM**

Rapport d'APP Électricité et circuits électriques

**Alexis Juteau et Shawn Miller
JUTA1101 & MILS2203
Date : 6 octobre 2021**

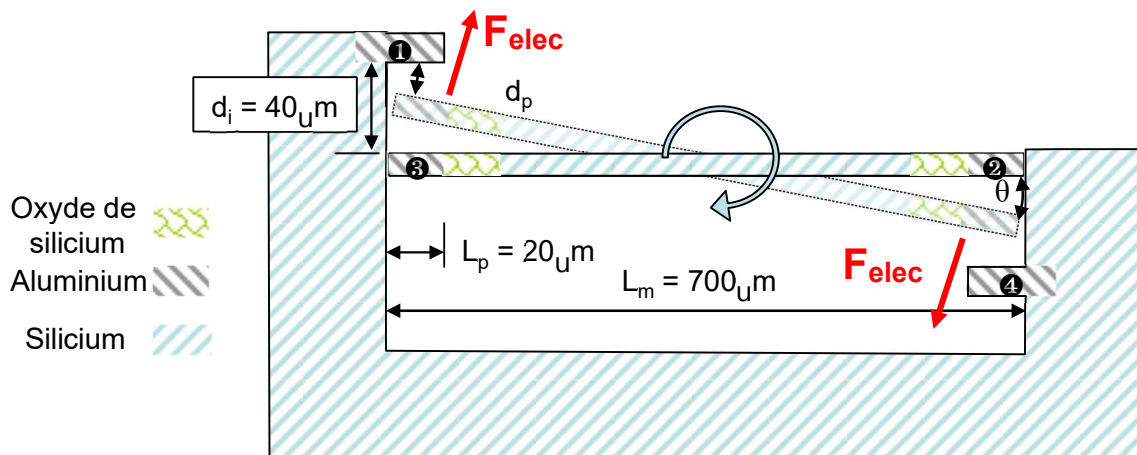
Département de génie électrique et de génie informatique
Faculté de génie Université de Sherbrooke

Automne 2021

1. Résumé de la problématique avec spécifications recherchées (5 points C-1)

D'une part, l'objectif de la problématique est de faire un rapport sur le fonctionnement d'un miroir MEMS à force électrostatique. De plus, il faut calculer les valeurs suivantes ; C_p , F_{si} , Voltage nécessaire pour faire défléchir le miroir selon l'angle. Du côté schéma, il faut le compléter en calculant les résistances R1 à R9. Finalement, il faut monter le schéma de l'alimentation du micromiroir¹ avec un multiplexeur/démultiplexeur analogique à 8 canaux (74HC4051).

2. Diagramme des forces mécaniques et électrostatiques exercées sur le miroir du MEMS (4 points C-1)



¹ Pour obtenir les bonnes valeurs de tension, il faut amplifier par 30 à l'aide d'un amplificateur opérationnel.

3. Démonstration de la mise en équation de la relation du voltage (V) en fonction de l'angle du micromiroir (θ) (45 points C-1)

a. Présenter les équations que vous avez utilisées pour calculer la distance d_p en fonction de l'angle θ (10 points C-1)

$$d_p(\theta) = d_i - \frac{L_m}{2} \cdot \sin\theta$$

$$d_p(0) = d_i$$

$$d_p(0,5) = 40\mu\text{m} - 350\mu\text{m} \cdot \sin 0,5 = 36,95\mu\text{m}$$

$$d_p(1) = 40\mu\text{m} - 350\mu\text{m} \cdot \sin 1 = 33,89\mu\text{m}$$

$$d_p(1,5) = 40\mu\text{m} - 350\mu\text{m} \cdot \sin 1,5 = 30,83\mu\text{m}$$

$$d_p(2) = 40\mu\text{m} - 350\mu\text{m} \cdot \sin 2 = 27,78\mu\text{m}$$

b. Présenter les équations que vous avez utilisées pour calculer la capacité (C_p) d'un côté du micromiroir en fonction de l'angle θ (10 points C-1)

$$C_p = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d_p} = \varepsilon_0 \cdot \frac{14\text{pm}}{(40\mu\text{m} - 350\mu\text{m} \cdot \sin\theta)} \quad \varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$$

$$A = 700\mu\text{m} \cdot 20\mu\text{m} = 14\eta\text{m}$$

$$C_p(0) = \varepsilon_0 \cdot \frac{14\text{nm}}{40\mu\text{m}} = 3,0989 \cdot 10^{-15}$$

$$C_p(0,5) = \varepsilon_0 \cdot \frac{14\eta\text{m}}{36,95\mu\text{m}} = 3,355 \cdot 10^{-15}$$

$$C_p(1) = \varepsilon_0 \cdot \frac{14\text{nm}}{33,84\mu\text{m}} = 3,663 \cdot 10^{-15}$$

$$C_p(1,5) = \left\{ \varepsilon_0 \cdot \frac{14\text{nm}}{30,83\mu\text{m}} = 4,02 \cdot 10^{-15} \right\}$$

$$C_p(2) = \left\{ \varepsilon_0 \cdot \frac{14\text{nm}}{27,78\mu\text{m}} = 4,46 \cdot 10^{-15} \right\}$$

- c. Présenter les équations que vous avez utilisées pour calculer la force mécanique (F_{Si}) et la force électrique (F_{elec}) exercées d'un seul côté du micromiroir en fonction de l'angle θ (15 points C-1)

$$F_{Si} = F_{elec}$$

$$T_{mec} = k_{\theta} \cdot \theta$$

$$k_{\theta} = 0,5 \cdot \frac{\eta N_m}{\text{deg}}$$

$$F_{Si} = \frac{T_{mec}}{L} = \frac{k_{\theta} \theta}{L}$$

$$F_{Si}(0,5) = \frac{k_{\theta} \cdot 0,5}{700\mu\text{m}} = 0,357\mu\text{N}$$

$$F_{Si}(1) = \frac{k_{\theta} \cdot 1}{700\mu\text{m}} = 0,714\mu\text{N}$$

$$F_{Si}(1,5) = \frac{k_{\theta} \cdot 1,5}{700\mu\text{m}} = 1,07\mu\text{N}$$

$$F_{Si}(2) = \frac{k_{\theta} \cdot 2}{700\mu\text{m}} = 1,43\mu\text{N}$$

- d. Présenter les équations que vous avez utilisées pour démontrer la tension $V(\theta)$ à appliquer pour dévier le micromiroir d'un angle θ (10 points C-1)

$$Q = \frac{F_e}{E}$$

$$E = \frac{V}{dp}$$

$$F_e = \frac{k_\theta \theta}{L}$$

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{dp}$$

$$Q = C \cdot V$$

$$k_\theta = \frac{0.5nN}{deg}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$$

$$A = 14\eta m$$

$$\frac{F_e}{E} = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{dp} \cdot V$$

$$\frac{F_e dp}{V} = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{dp} \cdot V$$

$$\frac{F_e}{\epsilon_0 \cdot A} dp^2 = V^2$$

$$V_{out} = \frac{V(\theta)}{30}$$

$$V(\theta) = \sqrt{\frac{k_\theta \theta}{L \cdot \epsilon_0 \cdot A} \cdot d_i - \frac{L_m}{2} \cdot \sin \theta}$$

$$V(0.5) = \sqrt{\frac{k_\theta 0.5}{700\mu m \cdot \epsilon_0 \cdot 14\eta m} \cdot \left(40\mu m - \frac{700\mu m}{2} \cdot \sin 0.5\right)} = 67.72V$$

$$V(1) = \sqrt{\frac{k_\theta 1}{700\mu m \cdot \epsilon_0 \cdot 14\eta m} \cdot \left(40\mu m - \frac{700\mu m}{2} \cdot \sin 1\right)} = 81V$$

$$V(1.5) = \sqrt{\frac{k_\theta 1.5}{700\mu m \cdot \epsilon_0 \cdot 14\eta m} \cdot \left(40\mu m - \frac{700\mu m}{2} \cdot \sin 1.5\right)} = 90.6V$$

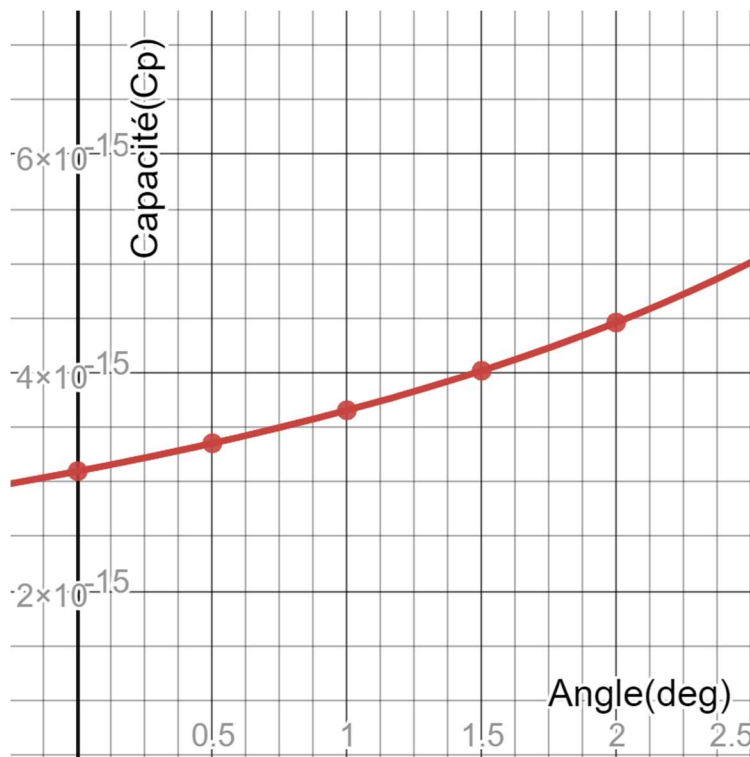
$$V(2) = \sqrt{\frac{k_\theta 2}{700\mu m \cdot \epsilon_0 \cdot 14\eta m} \cdot \left(40\mu m - \frac{700\mu m}{2} \cdot \sin 2\right)} = 94.2V$$

$$V_{out} = \frac{67.72V}{30} = 2.09V \quad V_{out} = \frac{90.6V}{30} = 3.02V$$

$$V_{out} = \frac{81}{30} = 2.7V \quad V_{out} = \frac{94.2V}{30} = 3.14V$$

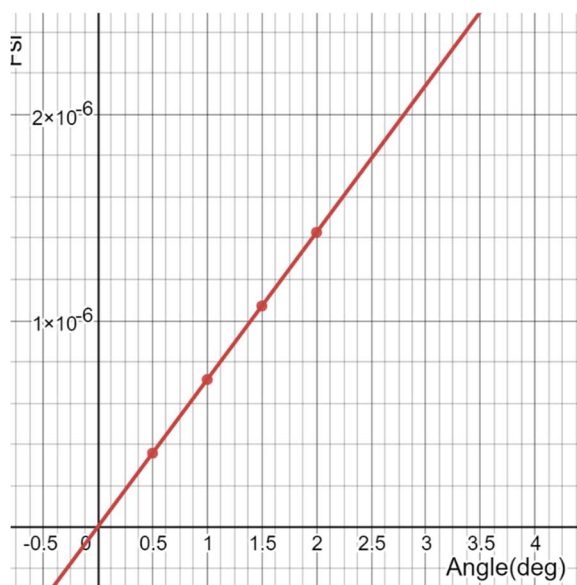
4. Présentation des graphiques de la capacité (C_p), de la force mécanique (F_{Si}) et du voltage (V) en fonction de l'angle θ pour la plage de rotation du miroir autorisé (36 points C-1)

Graphique de la capacité en fonction de l'angle de rotation (θ)



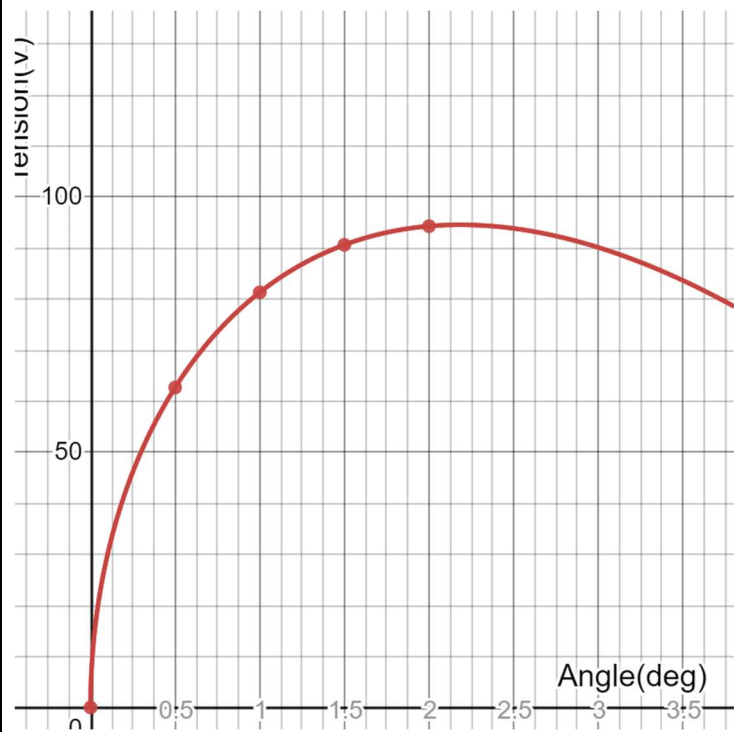
x	$f(x)$
0	3.0989×10^{-15}
0.5	3.355085×10^{-15}
1	3.657419×10^{-15}
1.5	4.019577×10^{-15}
2	4.461228×10^{-15}

Graphique de la force mécanique en fonction de l'angle de rotation (θ)



x	$f(x)$
0.5	3.571429×10^{-7}
1	7.142857×10^{-7}
1.5	1.071429×10^{-6}
2	1.428571×10^{-6}

Graphique du voltage fonction de de l'angle de rotation (θ)



x	 $f(x)$
0	0
0.5	62.712087
1	81.357017
1.5	90.664026
2	94.32577

5. Présentation des valeurs de tension de sortie recherchées (5 points C-2)

Tableau 1: tableau des valeurs de tension recherchées

Angle (°)	Valeurs recherchées (V)
0.5	2.09
1	2.70
1.5	3.02
2	3.14

6. Démonstration du calcul théorique pour le choix des valeurs de résistances selon la puissance demandée (5 points C-2)

$$P_{\max} = 0,01W \quad V_{\max} = 5V$$

$$I_{\max} = \frac{P}{V} = \frac{0,01W}{5V} = 2mA$$

$$R_6 = R_7 = R_8 = R_9$$

$$I_{R6} = \frac{2mA}{4} = 500\mu A$$

$$R_6 = \frac{V_{\max}}{I_{R6}} = \frac{5V}{500\mu A} = 10k\Omega$$

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8} + \frac{1}{R_9}} = 2,5k\Omega$$

$$= \frac{V^2}{R_T} = \frac{5V^2}{2,5k\Omega} = 0,01W$$

7. Démonstration du calcul théorique pour le choix des valeurs de résistances selon la tension demandée (5 points C-2)

$$R_4 = \frac{V_{R4}}{I_{\max}} = \frac{4.2V - 3.14V}{10mA} = 106\Omega$$

$$R_5 = \frac{V_{out} - V_{LED} - V_{ee}}{I_{\max}} = \frac{3.14V - 2V - -5V}{10mA} = 614\Omega$$

$$I = \frac{V_{out} - V_{LED} - V_{ee}}{R_5} = \frac{2.09V - 2V - -5V}{614\Omega} = 8.29mA$$

$$R_1 = \frac{V_{R1}}{I} = \frac{4.2V - 2.09V}{8.29mA} = 254.5\Omega$$

$$I = \frac{V_{out} - V_{LED} - V_{ee}}{R_5} = \frac{2.7V - 2V - -5V}{614\Omega} = 9.28mA$$

$$R_2 = \frac{V_{R2}}{I_{\max}} = \frac{4.2V - 2.70V}{9.28mA} = 161.6\Omega$$

$$I = \frac{V_{out} - V_{LED} - V_{ee}}{R_5} = \frac{3.02V - 2V - -5V}{614\Omega} = 9.8mA$$

$$R_3 = \frac{V_{R3}}{I_{\max}} = \frac{4.2V - 3.02V}{9.8mA} = 120.4\Omega$$

8. Présentation du tableau récapitulatif des valeurs théoriques des tensions et des valeurs mesurée (5 points C-2)

Tableau 2: tableau des valeurs de tension théoriques & mesurées

Angle (°)	Valeurs théoriques (V)	Valeurs mesurées (V)
0.5	2.09	2.14
1	2.70	2.52
1.5	3.02	2.75
2	3.14	2.84

9. Présentation du tableau récapitulatif des valeurs théoriques des résistances et des valeurs choisies (5 points C-2)

Tableau 3: tableau des valeurs de résistance théoriques & mesurées

Composantes	Valeurs théoriques (Ω)	Valeurs mesurées (Ω)
R1	254.5	260
R2	161.6	163
R3	120.4	124
R4	106	107
R5	614	615

10. Analyse des tableaux demandés (5 points C-2)

En comparant les tableaux aux points 8 et 9 définis précédemment, on voit une différence entre les résultats théoriques et les résultats mesurés en laboratoire. Cette différence est due aux paramètres qu'il faut considérer lorsqu'on mesure un circuit physique. C'est-à-dire une incertitude dans les tensions, les résistances et diode. De plus, les bruits parasites peuvent influencer les résultats mesurés.