

Master Professionnel AEII
Électronique de puissance
Terminal, durée 1h30

*Document autorisé : une feuille A4 recto-verso manuscrite ou dactylographiée
Calculatrice autorisée*

Chaque candidat doit, en début d'épreuve, porter son nom dans le coin de la copie qu'il cachera par collage après avoir été pointé. Il devra, en outre, porter son numéro de place sur chacune des copies, intercalaires ou pièces annexées.

1 Baromètre, indicateur de tendance

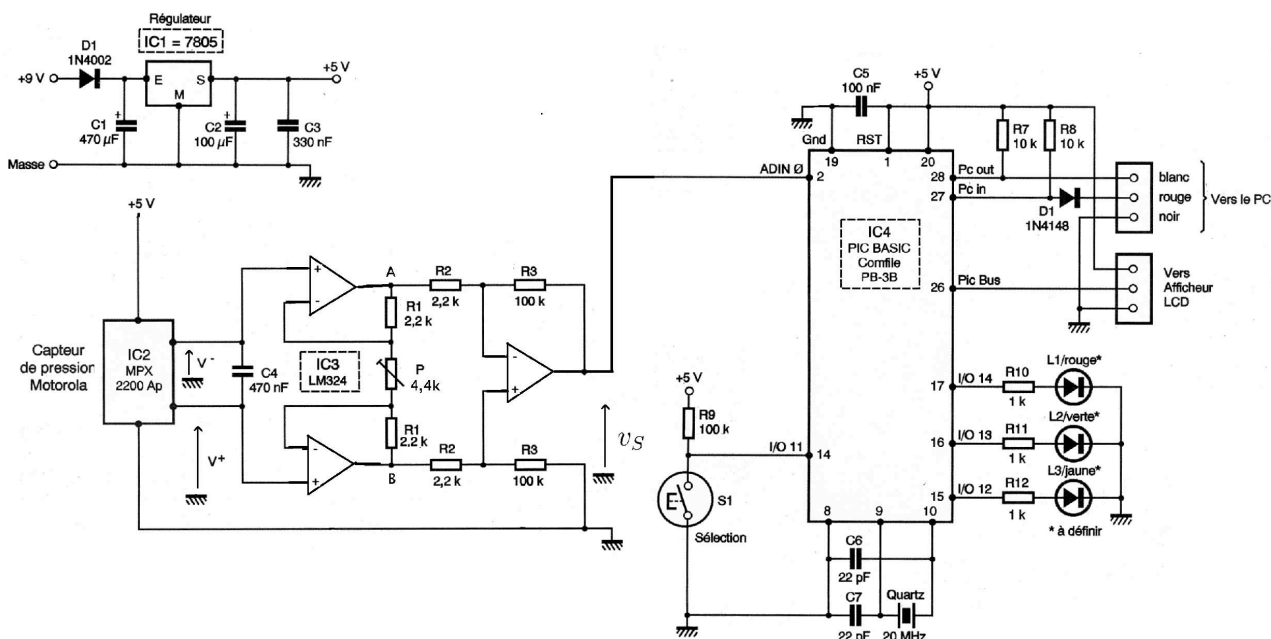


FIG. 1 – Schéma électronique d'un baromètre utilisant un capteur de pression MPX2200.

La figure (1) est une réalisation d'un baromètre proposée dans une revue d'électronique grand-public. Le montage comprend différents circuits intégrés (IC). Seuls les circuits IC2 et IC3 seront étudiés en détail.

Le rôle d'IC1 est de fournir une tension d'alimentation de 5V à partir d'une pile de 9V. Il ne sera pas étudié plus en détails par la suite.

IC4 est un micro-contrôleur se programmant facilement en BASIC. Il dispose de convertisseur analogique/numérique 10 bits (entrée ADIN0) et d'entrées/sorties numériques (I/Ox). Dans l'application proposée, il permet de faire l'acquisition de la tension analogique v_S disponible en sortie du conditionneur (IC3), de contrôler l'état du poussoir S1(entrée I/O14), d'allumer les diodes électroluminescentes L1 à L3(sorties I/O12 à I/O14) et d'écrire sur un afficheur LCD (figure 2) la valeur de la pression en hPa.

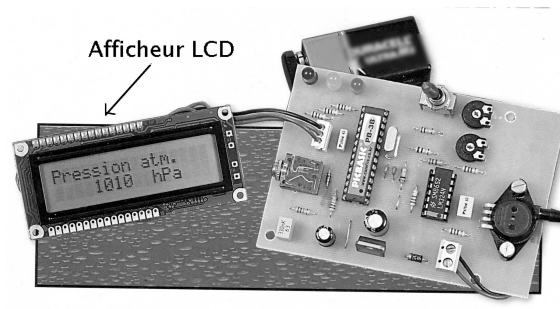


FIG. 2 – Le circuit réalisé : on voit la pile d'alimentation et l'afficheur LCD. Le capteur est situé à droite du montage.

1.1 Etude du capteur

IC2 est un capteur intégré actif de pression utilisant des jauges de contraintes déposées sur une membrane de silicium et câblées suivant une structure en quart de pont.

La caractéristique de transfert tension de sortie en fonction de la pression est quasi-linéaire.

Pour l'analyse du fonctionnement du circuit, la capacité C4 peut-être ôtée. Elle est néanmoins nécessaire au bon fonctionnement du circuit.

- a. A l'aide de la fiche capteur, donner :
 - l'effet physique mis en oeuvre dans ce capteur.
 - Le type de capteur (actif ou passif) ainsi que le schéma électrique équivalent pour la sortie du capteur. On donnera la valeur numérique de la résistance de sortie.
 - les valeurs numériques de la sensibilité (S) , du décalage à zéro, de la linéarité et du temps de réponse. On choisira d'indiquer soit les valeurs typiques, soit les valeurs limites (MIN/MAX)
 - la valeur typique de la gamme maximale de la tension de sortie (Full Scale Span). En déduire l'influence de la température sur la valeur de la tension maximale de sortie, du décalage à zéro (donner les valeurs numériques en Volt).
- b. Expliquer pourquoi la différence entre l'altitude de la station météorologique et l'altitude du lieu où sera utilisé le capteur est à prendre en compte lors de l'étalonnage.

1.2 Etude du conditionneur

IC3 est un circuit intégré contenant 4 amplificateurs opérationnels qui seront supposés parfaits ici. Trois d'entre eux sont utilisés pour réaliser le conditionneur. Les notations utilisées sont précisées sur la figure (1).

- a. Donner l'expression des tensions v_A et v_B en fonction des tensions V^+ et V^- en sortie de IC2 et des résistances P et R1.
- b. Donner l'expression de la tension v_S en fonction de v_A et v_B et des résistances R2 et R3 puis celle du gain en tension $K = v_S/(V^+ - V^-)$.
- c. Indiquer la valeur numérique du gain en tension K .

1.3 Convertisseur analogique/numérique et affichage

Celui-ci transforme la tension v_S à son entrée en un nombre décimal N résultant de la conversion utilisant 10 bits.

- a. Donner la valeur numérique du transfert $T = N/v_S$. On notera que la tension de référence du convertisseur est égale à 5V.

Les lignes du programme BASIC permettant d'afficher la pression sur l'écran sont reproduites ci-dessus.

```

...
1 N=ADIN(0) : P=N*

```

```

2 LOCATE 0,0 : PRINT ‘Pression Atm.’
3 LOCATE 3,1 : PRINT DEC(P) : PRINT ‘ hPa’
...

```

L’analyse de ces lignes fait apparaître que le nombre entier N issu de la conversion ($N=ADIN(0)$) est converti en un autre nombre entier P correspondant à la pression *mesurée en hPa*. Un facteur de conversion noté H est utilisé. Il apparaît en flou sur les lignes précédentes.

- b. Donner la valeur numérique de ce facteur H.

1.4 Calculs d’incertitude

La valeur de la pression affichée sur l’écran est donc donnée par $P_{affiche} = P \cdot S \cdot K \cdot T \cdot H$ avec P la pression mesurée au niveau du capteur. Les sources d’erreur dont on tient compte sont :

- l’erreur sur la valeur de la sensibilité S du capteur
- l’erreur sur la valeur du gain K de l’amplificateur
- l’erreur liée à la quantification

1.4.1 Incertitude type u(S)

Du fait de dérive dans le procédé de fabrication du capteur, plusieurs capteurs, à priori identiques, peuvent fournir une tension de sortie différente pour un même mesurande. Ceci correspond à une erreur dont il convient d’estimer l’incertitude à partir des données du constructeur (valeurs MIN et MAX de la gamme maximale de la tension de sortie par exemple).

- Estimer la valeur numérique de l’incertitude type u(S). On prendra un facteur d’élargissement égal à 2.

Cette incertitude correspond au cas d’un capteur non étalonné. Pour diminuer cette erreur, il suffit d’étalonner le capteur en contactant une station météorologique qui donnera une mesure fiable de la pression atmosphérique. Dans ces conditions, on considérera que l’incertitude type pour un capteur étalonné vaut $u_{etal}(S) = 50 \mu V/kPa$.

1.4.2 Incertitude type u(K)

On considère que l’incertitude élargie sur la valeur des résistances P, R1, R2 et R3 est égale à 5% avec un facteur d’élargissement k=2.

- d. Donner l’expression et la valeur numérique de l’incertitude type u(K). On tiendra compte du fait que $P = 2 \cdot R1$. ?

Le gain du conditionneur est ajustable par l’intermédiaire du potentiomètre P. On souhaite obtenir K=100 avec une incertitude type égale à 0,1. On utilise donc un voltmètre possédant une résolution suffisante et comme pour le capteur, on considérera que l’incertitude type pour un amplificateur étalonné vaut $u_{etal}(K) = 0,1$.

1.4.3 Incertitude type de quantification u(T)

La conversion introduit une erreur liée à la quantification du résultat. Estimer l’incertitude type u(T) en utilisant une méthode de type B. L’erreur de quantification est similaire à l’erreur liée à la résolution d’un afficheur numérique.

1.4.4 Calcul de l’incertitude composée

On supposera toutes les sources d’erreur indépendantes.

- a. Appliquer la loi de propagation des incertitudes pour donner l’expression de l’incertitude composée

- b. Avec un facteur d'élargissement de 2, calculer la valeur numérique de l'incertitude élargie dans deux cas. Cas 1 : capteur non étalonné et amplificateur non étalonné. Cas 2 : capteur et amplificateur étalonné.

1.4.5 Quel temps fera t'il demain ?

On s'intéresse ici à la justesse nécessaire pour qu'un baromètre permette de prédire correctement la météo. La table (1) indique les tendances généralement utilisées.

| Météo | Gamme de pression atmosphérique (hPa) |
|------------|---------------------------------------|
| Tempête | 962-989 |
| Pluie/vent | 987-1010 |
| Variable | 1005-1025 |
| Beau temps | 1020-1042 |
| Très sec | 1040-1067 |

TAB. 1 – Table indiquant la météo en fonction de la pression atmosphérique.

Une tendance météorologique correspond à une gamme de pression de l'ordre de 20hPa

- a. Quelle doit être l'incertitude élargie d'un baromètre pour pouvoir prédire correctement la météo du lendemain ?
- b. L'étalonnage du capteur et de l'amplificateur de tension sont ils nécessaires ?

200 kPa On-Chip Temperature Compensated & Calibrated Pressure Sensors

The MPX2200 series device is a silicon piezoresistive pressure sensor providing a highly accurate and linear voltage output — directly proportional to the applied pressure. The sensor is a single monolithic silicon diaphragm with the strain gauge and a thin-film resistor network integrated on-chip. The chip is laser trimmed for precise span and offset calibration and temperature compensation. They are designed for use in applications such as pump/motor controllers, robotics, level indicators, medical diagnostics, pressure switching, barometers, altimeters, etc.

Features

- Temperature Compensated Over 0°C to +85°C
- ±0.25% Linearity (MPX2200D)
- Easy-to-Use Chip Carrier Package Options
- Available in Absolute, Differential and Gauge Configurations

Application Examples

- Pump/Motor Controllers
- Robotics
- Level Indicators
- Medical Diagnostics
- Pressure Switching
- Barometers
- Altimeters

Figure 1 illustrates a block diagram of the internal circuitry on the stand-alone pressure sensor chip.

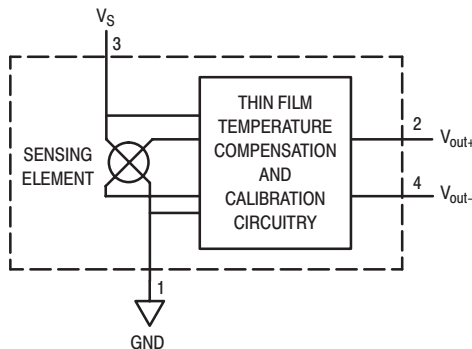


Figure 1. Temperature Compensated Pressure Sensor Schematic

VOLTAGE OUTPUT versus APPLIED DIFFERENTIAL PRESSURE

The differential voltage output of the sensor is directly proportional to the differential pressure applied.

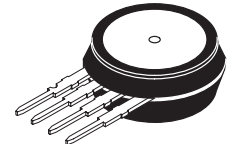
The absolute sensor has a built-in reference vacuum. The output voltage will decrease as vacuum, relative to ambient, is drawn on the pressure (P1) side.

The output voltage of the differential or gauge sensor increases with increasing pressure applied to the pressure (P1) side relative to the vacuum (P2) side. Similarly, output voltage increases as increasing vacuum is applied to the vacuum (P2) side relative to the pressure (P1) side.

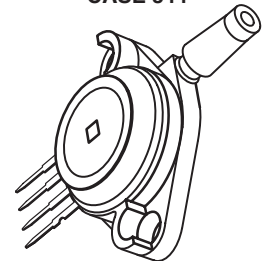
MPX2200 SERIES

0 to 200 kPa (0 to 29 psi)
40 mV FULL SCALE SPAN
(TYPICAL)

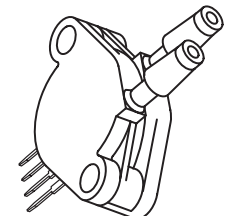
UNIBODY PACKAGE



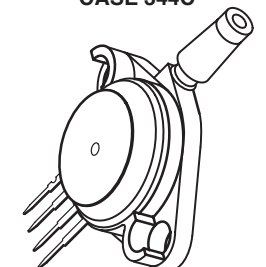
**MPX2200A/D
CASE 344**



**MPX2200AP/GP
CASE 344B**



**MPX2200DP
CASE 344C**



**MPX2200GVP
CASE 344D**

PIN NUMBER

| | | | |
|---|-------------------|---|-------------------|
| 1 | Gnd | 3 | V _S |
| 2 | +V _{out} | 4 | -V _{out} |

NOTE: Pin 1 is noted by the notch in the lead.

MPX2200 SERIES

MAXIMUM RATINGS(NOTE)

| Rating | Symbol | Value | Unit |
|----------------------------|------------------|-------------|------|
| Maximum Pressure (P1 > P2) | P _{max} | 800 | kPa |
| Storage Temperature | T _{stg} | -40 to +125 | °C |
| Operating Temperature | T _A | -40 to +125 | °C |

NOTE: Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

OPERATING CHARACTERISTICS (V_S = 10 Vdc, T_A = 25°C unless otherwise noted, P1 > P2)

| Characteristics | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|------------------------------------|---------------|--------|-------------|-------------------|
| Pressure Range ⁽¹⁾ | P _{OP} | 0 | — | 200 | kPa |
| Supply Voltage | V _S | — | 10 | 16 | Vdc |
| Supply Current | I _o | — | 6.0 | — | mAdc |
| Full Scale Span ⁽³⁾ | V _{FSS} | 38.5 | 40 | 41.5 | mV |
| Offset ⁽⁴⁾ | V _{off} | -1.0 | — | 1.0 | mV |
| Sensitivity | ΔV/ΔP | — | 0.2 | — | mV/kPa |
| Linearity ⁽⁵⁾ | MPX2200D Series MPX2200A Series | -0.25 -1.0 | — — | 0.25 1.0 | %V _{FSS} |
| Pressure Hysteresis ⁽⁵⁾ (0 to 200 kPa) | — | — | ±0.1 | — | %V _{FSS} |
| Temperature Hysteresis ⁽⁵⁾ (-40°C to +125°C) | — | — | ±0.5 | — | %V _{FSS} |
| Temperature Effect on Full Scale Span ⁽⁵⁾ | TCV _{FSS} | -1.0 | — | 1.0 | %V _{FSS} |
| Temperature Effect on Offset ⁽⁵⁾ | TCV _{off} | -1.0 | — | 1.0 | mV |
| Input Impedance | Z _{in} | 1300 | — | 2500 | Ω |
| Output Impedance | Z _{out} | 1400 | — | 3000 | Ω |
| Response Time ⁽⁶⁾ (10% to 90%) | t _R | — | 1.0 | — | ms |
| Warm-Up | — | — | 20 | — | ms |
| Offset Stability ⁽⁷⁾ | — | — | ±0.5 | — | %V _{FSS} |

NOTES:

- 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
- Device is ratiometric within this specified excitation range. Operating the device above the specified excitation range may induce additional error due to device self-heating.
- Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Accuracy (error budget) consists of the following:
 - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure, using end point method, over the specified pressure range.
 - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
 - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25°C.
 - TcSpan: Output deviation at full rated pressure over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
 - TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.