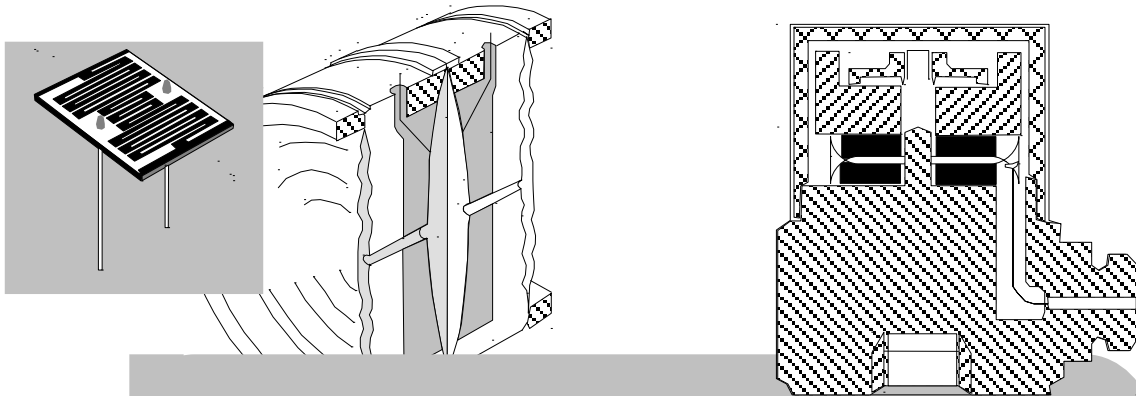
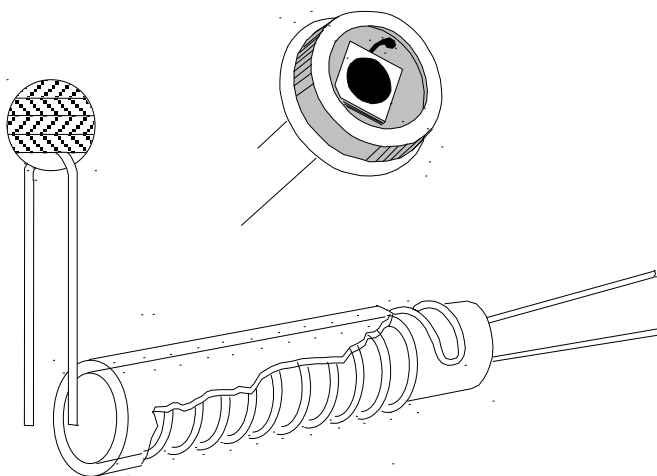




# *Capteurs Instrumentation*



RGL

KPR

KTI

KPES  
MSRA

|          |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                          |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------------|
| NOM      |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                          |
| NOM      |            |            |            |            |            |            |            |            |            |                          |
| Séance 1 | CIM : RGL  | CIM : RGL  | CIM : RGL  | CIM : RGL  | CIM : RGL  | CIM : RGL  | CIM : RGL  | CIM : RGL  | CIM : RGL  | CIM : RGL                |
| Séance 2 | CIM : KPR  | CIM : KPR  | CIM : KPR  | CIM : KPR  | CIM : KPR  | CIM : KPR  | CIM : KTI  | CIM : KTI  | CIM : KTI  | CIM : KTI                |
| Séance 3 | CIM : KTI  | CIM : KTI  | CIM : KTI  | CIM : KTI  | CIM : KTI  | CIM : KTI  | CIM : KPR  | CIM : KPR  | CIM : KPR  | CIM : KPR                |
| Séance 4 | CIM : KPES | CIM : KPES | CIM : MSRA | CIM : MSRA | CIM : MSRA | CIM : MSRA | CIM : MSRA |            |            | CIM : KPES<br>CIM : MSRA |
| Séance 5 | CIM : MSRA | CIM : MSRA |            |            |            |            |            | CIM : KPES | CIM : KPES | CIM : MSRA<br>CIM : KPES |
| Séance 6 |            |            |            | CIM : KPES | CIM : KPES | CIM : MSRA | CIM : MSRA | CIM : MSRA | CIM : MSRA |                          |

# TP 1 : Réglages : Alimentation et Multimètre

But du TP : ce premier TP est destiné à prendre contact avec les instruments de base et les méthodes qui seront utilisés lors des travaux pratiques suivants. Dans cet objectif, deux expérimentations vous sont proposées :

- a) Influence des câbles de liaison dans les mesures d'impédance,
- b) Méthode de réglage fin d'un pont diviseur

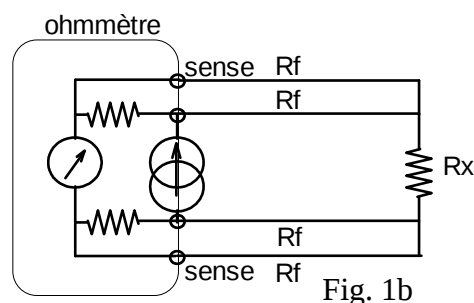
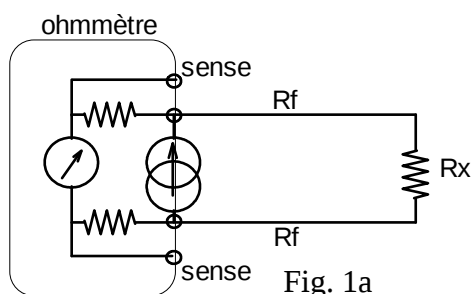
## 1. Mesure de résistance

Le multimètre utilisé est un Keithley DMM2000 6<sup>1/2</sup> digits. Repérez sur votre multimètre comment changer de fonction de mesure (Voltmètre, Ohmmètre et Ampèremètre). Compensez l'offset en mode Ohmmètre en utilisant le cavalier (équivalent à un court circuit) à votre disposition. Expliquez ce qu'est la compensation d'offset.



Il faut compenser l'offset chaque fois que l'on change de fonction !

Dans son principe un Ohmmètre est constitué d'une source de courant reliée à un voltmètre à travers 2 résistances de valeur  $r$  négligeable devant l'impédance interne du voltmètre (figure 1). La tension mesurée par le voltmètre à courant fixe est affichée directement en valeur de résistance.



Après avoir repéré les 4 bornes correspondant à la sortie de la source de courant et à l'entrée du voltmètre, mesurer la résistance  $R_x$  de valeur nominale 100  $\Omega$  mise à votre disposition. Montrer que l'Ohmmètre affiche :

- $R_x + 2 R_f$  dans la configuration 1a (mesure en 2 fils de résistance  $R_f$ )
- $R_x$  dans la configuration 1b (mesure en 4 fils),

Faire la démonstration expérimentale en utilisant des fils de mesures de 1m afin d'avoir une résistance suffisante. Comment peut-on s'affranchir de la résistance des fils sans recourir à la méthode 4 fils ?

## 2. Réalisation d'une source de tension continue réglable

1. Afficher une alimentation d'environ 10V. Mesurez précisément cette tension, et calculez l'incertitude expérimentale sur votre mesure.
2. Prenez deux résistances  $R_1$  et  $R_2$ , de  $1\text{k}\Omega$  et  $10\text{k}\Omega$  respectivement. Mesurez précisément ces deux résistances et donnez les incertitudes de mesure. Discuter la différence entre votre incertitude de mesure et celle indiquée par le code de couleur (ici à 5%) ?

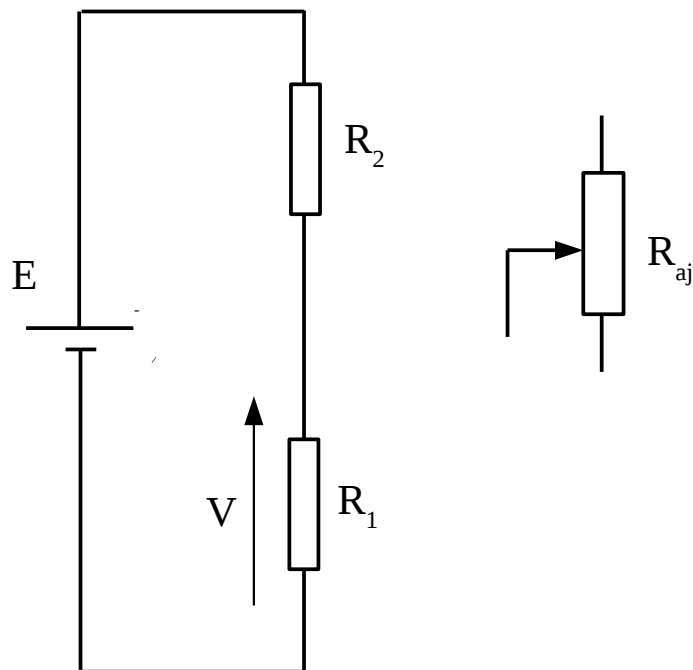
(c) En utilisant la source de tension de 10V et les résistances  $R_1$  et  $R_2$ , réalisez une source de tension continue (pont diviseur). Mesurez la tension ainsi réalisée et calculez l'incertitude sur cette tension. Comparez à la valeur théorique attendue (en incluant l'incertitude calculée sur cette valeur théorique) :

Valeur expérimentale :

---

Valeur théorique :

3. On désire obtenir une tension continue de 1V, de la manière la plus précise possible. Montrez que cela est possible en utilisant les résistances  $R_1$ ,  $R_2$  ainsi qu'une résistance variable de réglage  $R_{aj}$ . Où placez-vous cette résistance dans le montage ? Calculer sa valeur, réaliser le montage et mesurer la tension de sortie  $V$ .



## TP 2 : Capteur de pression (KPR)

### 1. Présentation:

On se propose d'étudier et d'étalonner un capteur de pression différentielle intégré. Ce capteur est constitué d'une membrane en silicium (corps d'épreuve) qui se déforme sous l'effet de la différence de pression appliquée sur les ports d'entrée du capteur. Quatre jauges de contraintes sont disposées en pont de Wheatstone entier sur cette membrane de silicium (voir notice jointe) :

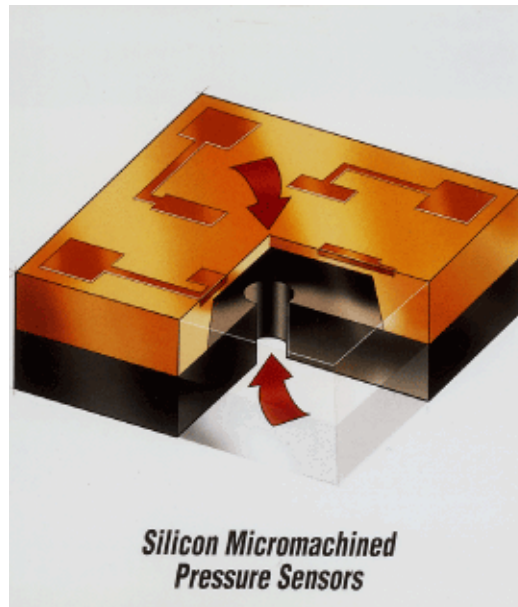


Fig 1 : Principe de fonctionnement d'un capteur de pression différentiel

En régime élastique, la résistance  $R$  de chaque jauge varie linéairement avec la déformation de la membrane (et donc avec la pression). On obtient alors la relation :

$$\left| \frac{\Delta R}{R} \right| = A \cdot \Delta P$$

Où  $A$  est un facteur de proportionnalité dépendant de la nature des jauges de contraintes, de leur positionnement sur la membrane, des caractéristiques mécaniques de cette membrane, et enfin de la géométrie de ce corps d'épreuve. La disposition des jauges sur la membrane assure un fonctionnement en pont entier : les jauges d'une même branche présentent des variations opposées et les 2 branches sont inversées.

Le dispositif expérimental représenté sur la figure 2a est constitué d'un calibrateur numérique de pression dont l'entrée est reliée à la fois au capteur et à une pompe manuelle (DP0V). La pression relative (à l'atmosphère) est affichée par le calibrateur, permettant ainsi d'étalonner le capteur. Celui-ci est alimenté par une tension continue réglable. Un multimètre numérique permet de mesurer la tension  $V_m$  de sortie du capteur.

### 2. Préparation:

Le capteur utilisé en TP est le SCX30DNC. Lisez la datasheet de ce capteur (en annexe) et répondez aux questions suivantes :

- (1) Quelle est en psi et en bar la plage d'utilisation de ce capteur.
- (2) Quelle est la tension maximale d'alimentation ?

- (3) Quelle est en mV/V/psi la sensibilité intrinsèque typique du capteur ? Convertissez cette grandeur en mV/V/bar.
- (4) Quelle est le sens physique de la résistance d'entrée du capteur ? Quelle est sa valeur typique à 25°C ?

### 3. Manipulation :

(a) Mesurez la résistance d'entrée du capteur. Déduisez-en une estimation de la valeur de chaque résistance du pont de Wheatstone, sachant que celles-ci sont égales, en première approximation, au repos.

(b) Après avoir repéré le brochage du capteur (figure 2 b), réalisez son étalonnage sous une tension d'alimentation de 10V et dans une gamme de pression de 0 à 2 bars. Représentez graphiquement la relation entre la pression appliquée et la tension de mesure. Déterminez, à l'aide de votre graphique, l'offset de votre capteur, ainsi que sa sensibilité intrinsèque. Conclure.

(c) Compte-tenu de l'offset que vous mesurez, déterminez l'emplacement et la valeur d'une résistance parallèle  $R_p$  permettant d'équilibrer le pont de à vide, c'est-à-dire à pression différentielle nulle, à température ambiante. Cette valeur vous semble-t-elle réaliste ? Réalisez cette compensation en utilisant deux résistances  $R_p$ .

(d) Réalisez un affichage direct de la pression en mmHg.

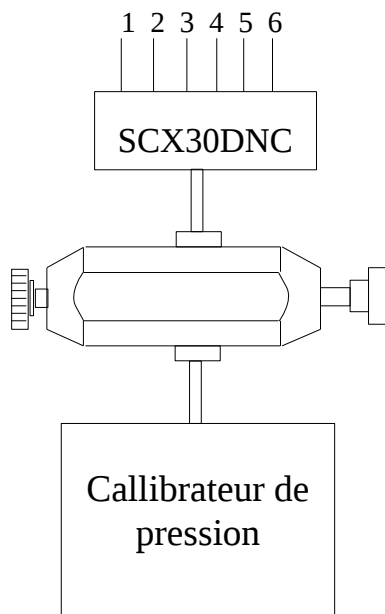


Fig 2.a

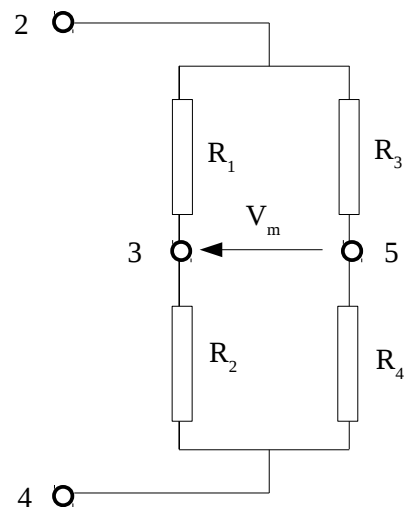


Fig 2.b

**Tableau de conversion d'unités de pression**

|                    | Pascal                | bar              | kg/cm <sup>2</sup>    | Atmosph                | g/cm <sup>2</sup>     | mmHg                  | mbar             | psi                     |
|--------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-------------------------|
| Pascal             | 1                     | 10 <sup>-5</sup> | 1,02.10 <sup>-5</sup> | 0,987.10 <sup>-5</sup> | 1,02.10 <sup>-5</sup> | 0,75.10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 0,1451.10 <sup>-3</sup> |
| bar                | 10 <sup>5</sup>       | 1                | 1.02                  | 0,9869                 | 1020                  | 750                   | 1000             | 14,51                   |
| kg/cm <sup>2</sup> | 0,98.10 <sup>-5</sup> | 0,98             | 1                     | 0,968                  | 1000                  | 735                   | 980              | 14,22                   |
| Atmosph            | 1,013.10 <sup>5</sup> | 1,013            | 1,033                 | 1                      | 1033                  | 760                   | 1013             | 14,70                   |

#### FEATURES

- 0...1 to 0...150 psi
- Low cost
- Precision temperature compensation
- Calibrated zero and span
- Small size
- Low noise
- High impedance for low power applications

#### APPLICATIONS

- Medical Equipment
- Computer Peripherals
- Pneumatic Control
- HVAC

#### GENERAL DESCRIPTION

The SCX...C series sensors will provide a very cost effective solution for pressure applications that require operation over a wide temperature range. These internally calibrated and temperature compensated sensors give an accurate and stable output over a 0°C to 70°C temperature range. This series is intended for use with non-corrosive, non-ionic working fluids such as air, dry gases, and the like.

Devices are available to measure absolute, differential, and gage pressures from 1 psi (SCX01) up to 150 psi (SCX150). The absolute (A) devices have an internal vacuum reference and an output voltage proportional to absolute pressure. The differential (D) devices allow application of pressure to either side of the pressure sensing diaphragm and can be used for gage or differential pressure measurements.

The SCX devices feature an integrated circuit sensor element and laser trimmed thick film ceramic housed in a compact nylon case. This package provides excellent corrosion resistance and provides isolation to external package stresses. The package has convenient mounting holes and pressure ports for ease of use with standard plastic tubing for pressure connection.

All SCX devices are calibrated for span to within  $\pm 5\%$  and provide an offset (zero pressure output) of  $\pm 1$  mV maximum. These parts were designed for low cost applications where the user can typically provide fine adjustment of zero and span in external



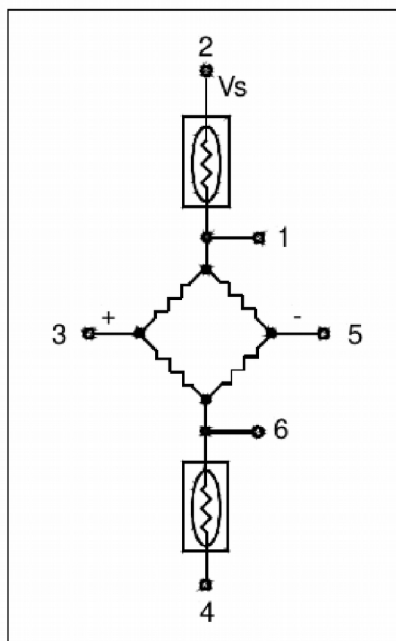
Scale: 1 cm  
1/2 inch

circuitry. For higher accuracies, refer to the standard SCX series datasheet. If the application requires extended temperature range operation, beyond 0 to 70°C, two pins which provide an output voltage proportional to temperature are available for use with external circuitry.

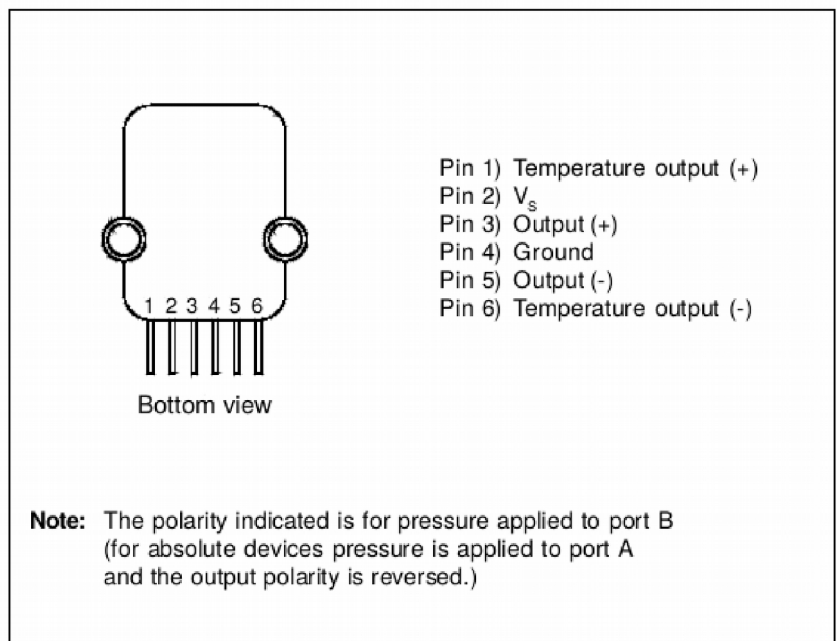
The output of the bridge is ratiometric to the supply voltage and operation from any D.C. supply voltage up to +20 V is acceptable.

Because these devices have very low noise and 100 microsecond response time they are an excellent choice for medical equipment, computer peripherals, and pneumatic control applications.

#### EQUIVALENT CIRCUIT



#### ELECTRICAL CONNECTION



### PRESSURE SENSOR CHARACTERISTICS<sup>1</sup>

#### Standard pressure ranges

| Part number | Operating pressure | Proof pressure <sup>2</sup> | Full-scale span <sup>1,3</sup> |        |         |
|-------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------|---------|
|             |                    |                             | Min.                           | Typ.   | Max.    |
| SCX01DNC    | 0 - 1 psid         | 20 psid                     | 17 mV                          | 18 mV  | 19 mV   |
| SCX05DNC    | 0 - 5 psid         | 20 psid                     | 57.5 mV                        | 60 mV  | 62.5 mV |
| SCX15ANC    | 0 - 15 psia        | 30 psia                     | 85 mV                          | 90 mV  | 95 mV   |
| SCX15DNC    | 0 - 15 psid        | 30 psid                     | 85 mV                          | 90 mV  | 95 mV   |
| SCX30ANC    | 0 - 30 psia        | 60 psia                     | 85 mV                          | 90 mV  | 95 mV   |
| SCX30DNC    | 0 - 30 psid        | 60 psid                     | 85 mV                          | 90 mV  | 95 mV   |
| SCX100ANC   | 0 - 100 psia       | 150 psia                    | 95 mV                          | 100 mV | 105 mV  |
| SCX100DNC   | 0 - 100 psid       | 150 psid                    | 95 mV                          | 100 mV | 105 mV  |
| SCX150DNC   | 0 - 150 psid       | 150 psid                    | 85 mV                          | 90 mV  | 95 mV   |

#### Maximum ratings (for all devices)

|                                         |                     |
|-----------------------------------------|---------------------|
| Supply voltage $V_S$                    | +20 V <sub>DC</sub> |
| Common-mode pressure                    | 50 psig             |
| Lead temperature (soldering, 4 seconds) | 250°C               |

#### Environmental specifications (for all devices)

|                                  |                 |
|----------------------------------|-----------------|
| Temperature range                |                 |
| Compensated                      | 0 to 70°C       |
| Operating                        | -40°C to +85°C  |
| Storage                          | -55°C to +125°C |
| Humidity limits (non-condensing) | 0 to 99 %RH     |

### COMMON PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup>

| Characteristic                                        | Min. | Typ.  | Max. | Unit            |
|-------------------------------------------------------|------|-------|------|-----------------|
| Zero pressure offset                                  | -1.0 | 0     | +1.0 | mV              |
| Combined linearity and hysteresis <sup>4</sup>        | ---  | ±0.2  | ±1.0 | %FSO            |
| Temperature effect on span (0 to 70°C) <sup>5</sup>   | ---  | ±0.4  | ±2.0 | %FSO            |
| Temperature effect on offset (0 to 70°C) <sup>5</sup> | ---  | ±0.20 | ±1.0 | mV              |
| Repeatability <sup>6</sup>                            | ---  | ±0.2  | ±0.5 | %FSO            |
| Input impedance <sup>7</sup>                          | ---  | 4.0   | ---  | kΩ              |
| Output impedance <sup>8</sup>                         | ---  | 4.0   | ---  | kΩ              |
| Common-mode voltage <sup>9</sup>                      | 5.7  | 6.0   | 6.3  | V <sub>DC</sub> |
| Response time <sup>10</sup>                           | ---  | 100   | ---  | sec             |
| Long term stability of offset and span <sup>11</sup>  | ---  | ±0.1  | ---  | mV              |

#### Specification notes:

- Reference conditions: Unless otherwise noted: supply voltage,  $V_S = 12$  V,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , common-mode line pressure = 0 psig, pressure applied to port B. For absolute devices only, pressure is applied to port A and the output polarity is reversed.
- Maximum pressure above which causes permanent sensor failure.
- Span is the algebraic difference between the output voltage at full-scale pressure and the output at zero pressure. Span is ratiometric to the supply voltage.
- See Definition of Terms. Hysteresis - the maximum output difference at any point within the operating pressure range for increasing and decreasing pressure.
- Maximum error band of the offset voltage and the error band of the span, relative to the 25°C reading.
- Maximum difference in output at any pressure with the operating pressure range and temperature within 0°C to +50°C after:
  - 1,000 temperature cycles, 0°C to +70°C
  - 1.5 million pressure cycles, 0 psi to full-scale span
- Input impedance is the impedance between pins 2 and 4.
- Output impedance is the impedance between pins 3 and 5.
- This is the common-mode voltage of the output arms (pins 3 and 5) for  $V_S = 12$  V<sub>DC</sub>.
- Response time for a 0 psi to full-scale span pressure step change, 10 % to 90 % rise time.
- Long term stability over a one year period.

## TP 3 : CAPTEURS DE TEMPERATURE

### But de la manipulation :

Etude et mise en oeuvre d'un capteur intégré AD 590 (sans amplification du signal)  
Linéarisation shunt d'une thermistance.

### Matériel disponible :

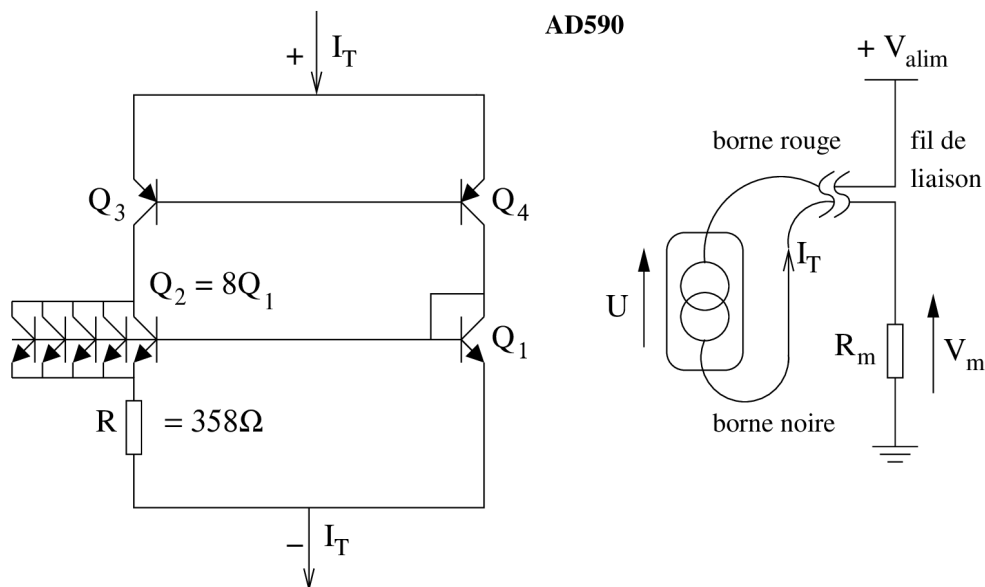
- capteurs : AD 590 et thermistance
- alimentation variable
- résistances fixes et variables
- multimètre de précision
- four étalonneur

**Remarque : dans la partie pratique, le capteur AD 590 et la thermistance seront étalonnés simultanément par souci de gain de temps.**

### 1. Capteur AD 590 (Analog devices).

E.M.: -55, +150°C. Sensibilité nominale 1  $\mu\text{A/K}$ .

#### 1.1. Principe de fonctionnement et montage de base



Pour un transistor monté en diode ( $V_{CE}=V_{BE}$ ), le courant d'émetteur s'écrit :

$$I = I_0 \exp(qV_{BE}/kT) \quad \text{avec } k : \text{constante de Boltzman } (1,3805 \cdot 10^{-23} \text{ J/K})$$

$q$  : charge de l'électron ( $1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ )

$Q_3$  identique à  $Q_4$

$Q$  : 8 transistors en parallèle, tous identiques à  $Q_1$ .

$T$  : température absolue du circuit.

On peut montrer que  $I_T = 10^{-6} T \text{ (A,K)}$ .

- Quel est l'intérêt d'un capteur fournissant non pas une tension mais un courant proportionnel au mesurande ?
- Quelle doit être la valeur de  $R_m$  et entre quelles limites peut être choisie la tension d'alimentation sachant que :  
 $U_{min} = 4V, \quad U_{max} = 30V$   
 $\theta_{max} = 120^\circ C; \theta_{min} = -25^\circ C$   
Sensibilité du montage souhaitée : 10 mV/K

## 1.2. Manipulation

- Le capteur étant supposé linéaire, mesurer sa sensibilité propre et son décalage de zéro grâce à un montage adéquat et les comparer aux spécifications du constructeur. On prendra successivement comme points de consigne du calibrateur : la température ambiante, puis aux environs de +40, +50, +60 °C .
- Calculer et construire un montage de mesure fournissant une tension proportionnelle à la température en °C, de sensibilité 10 mV/°C. En vérifier l'étalonnage en quelques points de la gamme et indiquer les résultats.

## 2. Thermistance

Les thermistances sont des capteurs de température résistifs caractérisés par une grande sensibilité et une forte non-linéarité.

Une linéarisation approchée dans un domaine restreint de température est possible. On la réalise en mettant en parallèle sur la résistance  $R_C$  du capteur une résistance de linéarisation  $R$  qu'il s'agit de déterminer par le calcul. On désignera par  $R_l = R_C // R$  la résistance de la sonde ainsi linéarisée.

### 2.1. Principe

Les courbes  $R_C$  en fonction de  $\theta$  et  $R_l$  en fonction de  $R_C$  présentent des non-linéarités de sens opposés. Il est donc possible qu'elles se compensent dans un domaine restreint de température  $\theta_1 < \theta < \theta_2$ , de sorte que  $R_l = f(\theta)$  est quasi-linéaire dans ce domaine.

### 2.2 Méthode

On calcule  $R$  de sorte que :  $R_l \left( \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right) = \frac{1}{2} [R_l(\theta_1) + R_l(\theta_2)]$  . En déduire :

$$R = \frac{2 \cdot R_C(60) \cdot R_C(40) - R_C(50) \cdot [R_C(40) + R_C(60)]}{2 \cdot R_C(50) - R_C(40) - R_C(60)}$$

Calculer la valeur de  $R$  pour votre thermistance, câblez, et vérifiez votre linéarisation :

ce qui implique que la courbe  $R_l = f(\theta)$  présente un point d'inflexion à  $\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$

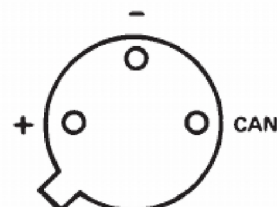
### 2.3. Manipulation

- Etalonner la thermistance pour : la température ambiante, et aux environs de +40, +50, +60 °C Tracer la courbe.
- Calculer  $R$  pour une linéarisation entre  $\theta_1 = 40^\circ C$  et  $\theta_2 = 60^\circ C$ .
- Câbler et vérifier pour des températures entre 40°C et 60°C.

### FEATURES

**Linear Current Output: 1  $\mu$ A/K**  
**Wide Range: -55°C to +150°C**  
**Probe Compatible Ceramic Sensor Package**  
**Two Terminal Device: Voltage In/Current Out**  
**Laser Trimmed to  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  Calibration Accuracy (AD590M)**  
**Excellent Linearity:  $\pm 0.3^\circ\text{C}$  Over Full Range (AD590M)**  
**Wide Power Supply Range: +4 V to +30 V**  
**Sensor Isolation from Case**  
**Low Cost**

### PIN DESIGNATIONS



BOTTOM VIEW

### PRODUCT DESCRIPTION

The AD 590 is a two-terminal integrated circuit temperature transducer that produces an output current proportional to absolute temperature. For supply voltages between +4 V and +30 V the device acts as a high impedance, constant current regulator passing 1  $\mu$ A/K. Laser trimming of the chip's thin-film resistors is used to calibrate the device to 298.2  $\mu$ A output at 298.2K (+25°C).

The AD 590 should be used in any temperature sensing application below +150°C in which conventional electrical temperature sensors are currently employed. The inherent low cost of a monolithic integrated circuit combined with the elimination of support circuitry makes the AD 590 an attractive alternative for many temperature measurement situations. Linearization circuitry, precision voltage amplifiers, resistance measuring circuitry and cold junction compensation are not needed in applying the AD 590.

In addition to temperature measurement, applications include temperature compensation or correction of discrete components, biasing proportional to absolute temperature, flow rate measurement, level detection of fluids and anemometry. The AD 590 is available in chip form making it suitable for hybrid circuits and fast temperature measurements in protected environments.

The AD 590 is particularly useful in remote sensing applications. The device is insensitive to voltage drops over long lines due to its high impedance current output. Any well insulated twisted pair is sufficient for operation hundreds of feet from the receiving circuitry. The output characteristics also make the AD 590 easy to multiplex: the current can be switched by a CMOS multiplexer or the supply voltage can be switched by a logic gate output.

### REV. B

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

### PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD 590 is a calibrated two terminal temperature sensor requiring only a dc voltage supply (+4 V to +30 V). Costly transmitters, filters, lead wire compensation and linearization circuits are all unnecessary in applying the device.
2. State-of-the-art laser trimming at the wafer level in conjunction with extensive final testing ensures that AD 590 units are easily interchangeable.
3. Superior interface rejection results from the output being a current rather than a voltage. In addition, power requirements are low (1.5 mWs @ 5 V @ +25°C.) These features make the AD 590 easy to apply as a remote sensor.
4. The high output impedance ( $>10\text{ M}\Omega$ ) provides excellent rejection of supply voltage drift and ripple. For instance, changing the power supply from 5 V to 10 V results in only a 1  $\mu$ A maximum current change, or 1°C equivalent error.
5. The AD 590 is electrically durable: it will withstand a forward voltage up to 44 V and a reverse voltage of 20 V. Hence, supply irregularities or pin reversal will not damage the device.

# AD590- SPECIFICATIONS (@ +25°C and $V_S = +5\text{ V}$ unless otherwise noted)

| Model                                                                 | AD590J |                  |      | AD590K |                  |      | Units  |
|-----------------------------------------------------------------------|--------|------------------|------|--------|------------------|------|--------|
|                                                                       | Min    | Typ              | Max  | Min    | Typ              | Max  |        |
| ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS                                              |        |                  |      |        |                  |      |        |
| Forward Voltage (E+ or E-)                                            |        |                  | +44  |        |                  | +44  | Volts  |
| Reverse Voltage (E+ to E-)                                            |        |                  | -20  |        |                  | -20  | Volts  |
| Breakdown Voltage (Case E+ or E-)                                     |        |                  | ±200 |        |                  | ±200 | Volts  |
| Rated Performance Temperature Range <sup>1</sup>                      | -55    |                  | +150 | -55    |                  | +150 | °C     |
| Storage Temperature Range <sup>1</sup>                                | -65    |                  | +155 | -65    |                  | +155 | °C     |
| Lead Temperature (Soldering, 10 sec)                                  |        |                  | +300 |        |                  | +300 | °C     |
| POWER SUPPLY                                                          |        |                  |      |        |                  |      |        |
| Operating Voltage Range                                               | +4     |                  | +30  | +4     |                  | +30  | Volts  |
| OUTPUT                                                                |        |                  |      |        |                  |      |        |
| Nominal Current Output @ +25°C (298.2K)                               |        | 298.2            |      |        | 298.2            |      | μA     |
| Nominal Temperature Coefficient                                       |        | 1                |      |        | 1                |      | μA/K   |
| Calibration Error @ +25°C                                             |        |                  | ±5.0 |        |                  | ±2.5 | °C     |
| Absolute Error (Over Rated Performance Temperature Range)             |        |                  |      |        |                  |      |        |
| Without External Calibration Adjustment                               |        |                  | ±10  |        |                  | ±5.5 | °C     |
| With +25°C Calibration Error Set to Zero                              |        |                  | ±3.0 |        |                  | ±2.0 | °C     |
| Nonlinearity                                                          |        |                  | ±1.5 |        |                  | ±0.8 | °C     |
| Repeatability <sup>2</sup>                                            |        |                  | ±0.1 |        |                  | ±0.1 | °C     |
| Long-Term Drift <sup>3</sup>                                          |        |                  | ±0.1 |        |                  | ±0.1 | °C     |
| Current Noise                                                         |        | 40               |      |        | 40               |      | pA/√Hz |
| Power Supply Rejection                                                |        |                  |      |        |                  |      |        |
| +4 V ≤ V <sub>S</sub> ≤ +5 V                                          |        | 0.5              |      |        | 0.5              |      | μA/V   |
| +5 V ≤ V <sub>S</sub> ≤ +15 V                                         |        | 0.2              |      |        | 0.2              |      | μV/V   |
| +15 V ≤ V <sub>S</sub> ≤ +30 V                                        |        | 0.1              |      |        | 0.1              |      | μA/V   |
| Case Isolation to Either Lead                                         |        | 10 <sup>10</sup> |      |        | 10 <sup>10</sup> |      | Ω      |
| Effective Shunt Capacitance                                           |        | 100              |      |        | 100              |      | pF     |
| Electrical Turn-On Time                                               |        | 20               |      |        | 20               |      | μs     |
| Reverse Bias Leakage Current <sup>4</sup><br>(Reverse Voltage = 10 V) |        | 10               |      |        | 10               |      | pA     |
| PACKAGE OPTIONS                                                       |        |                  |      |        |                  |      |        |
| TO-52 (H-03A)                                                         |        | AD 590JH         |      |        | AD 590KH         |      |        |
| Flatpack (F-2A)                                                       |        | AD 590JF         |      |        | AD 590KF         |      |        |

NOTES

<sup>1</sup>The AD590 has been used at -100°C and +200°C for short periods of measurement with no physical damage to the device. However, the absolute errors specified apply to only the rated performance temperature range.

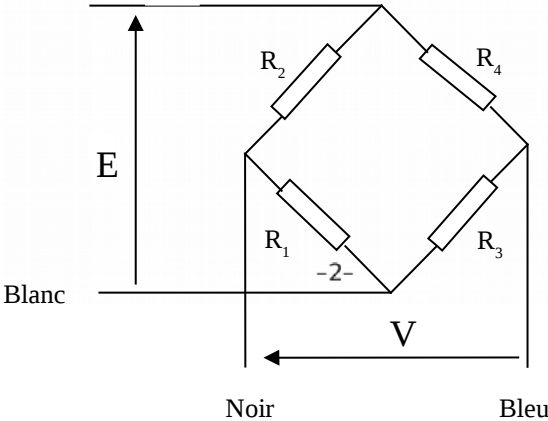
<sup>2</sup>Maximum deviation between +25°C readings after temperature cycling between -55°C and +150°C; guaranteed not tested.

<sup>3</sup>Conditions: constant +5 V, constant +125°C; guaranteed, not tested.

<sup>4</sup>Leakage current doubles every 10°C.

Specifications subject to change without notice.

Specifications shown in **boldface** are tested on all production units at final electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels. All min and max specifications are guaranteed, although only those shown in **boldface** are tested on all production units.



## TP 4 : CAPTEUR DE PESAGE PAR JAUGES EXTENSIOMETRIQUES

### BUT DE LA MANIPULATION :

Etude d'un capteur de force à jauges extenso métriques destiné au pesage industriel.  
Etalonnage, compensation d'offset et lecture directe.

### MATERIEL SPECIFIQUE :

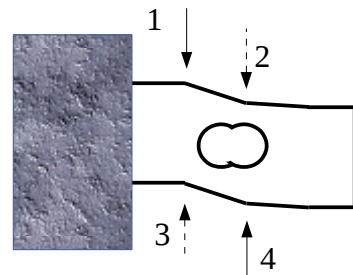
- Capteur BEF-F5 de portée 5kg avec plateau,
- Masses marquées,
- Alimentation variable
- Multimètre de précision

### PRINCIPE DE LA MESURE

Le capteur de pesage est constitué d'une double lame en flexion dont une extrémité est encastrée sur une potence. La force de pesage (ici le poids d'une masse donnée) est appliquée sur l'extrémité libre de la lame provoquant sa déformation et celle des 4 jauges qui en sont solidaires comme l'indique la figure ci-dessous. La déformation des jauges entraîne la variation de leur résistance dont la mesure permet de déterminer la masse pesée.

### ETUDE DU CAPTEUR

Le corps d'épreuve présente 4 zones de déformations optimales notées 1,2,3 et 4. Les zones 1 et 4 sont en traction (déformation positive) et les zones 2 et 3 en compression (déformation négative). Les jauges collées sur ces zones présentent des variations de résistance électrique proportionnelles et de même signe.



En effet, les jauges extenso métriques sont des capteurs résistifs dont la variation relative de résistance  $\frac{\Delta R}{R}$  est proportionnelle à la déformation relative subie  $\frac{\Delta l}{l}$ , soit :

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l} = S \cdot m$$

K étant le facteur de jauge, m la masse pesée et S la sensibilité propre du capteur.

K est de l'ordre de quelques unités dans le cas capteurs résistifs métalliques.

Le pré conditionnement des capteurs est assuré par une configuration en pont de Wheatstone, la disposition des différents éléments résistifs  $R_i$  du second schéma correspondant aux emplacements n°i du corps d'épreuve.

## PREPARATION

Les mesures à faire sont des **mesures de précision**. Ne pas oublier de faire ou refaire le zéro du multimètre s'il y a lieu.

Le capteur sera alimenté avec une tension  $E$  d'environ 9 V. Pourquoi faut-il la mesurer avec exactitude en charge ?

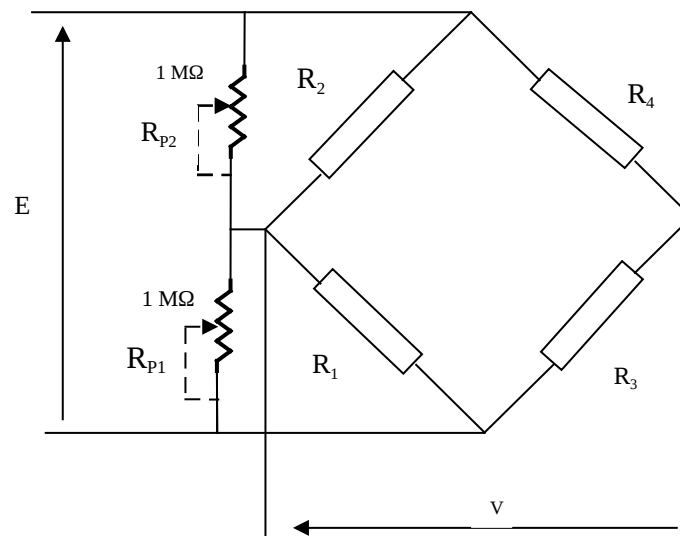
1. Mesures préliminaires, à température ambiante, et sur le capteur **non alimenté** et à vide. Comment peut-on déterminer la résistance des jauges configurées en pont de Wheatstone entier ?

2. Détermination de la sensibilité propre  $S$  et du décalage  $V_0$  du capteur définis par :

$$V_m = E.S.m + V_0$$

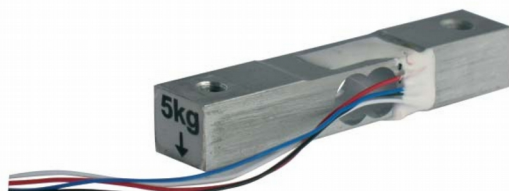
Quelles mesures faut-il faire ? quel est l'intérêt d'utiliser la sensibilité propre ? Quel inconvénient est dû au décalage  $V_0$  ?

3. Comment peut-on compenser le décalage ? Déterminer l'emplacement ( $R_{P1}$  et/ou  $R_{P2}$ ) et la valeur d'une résistance parallèle de compensation en fonction de  $V_0$  tel qu'indiqué sur la figure ci-dessous. Dans quel cas faut-il utiliser une ou deux résistances ?

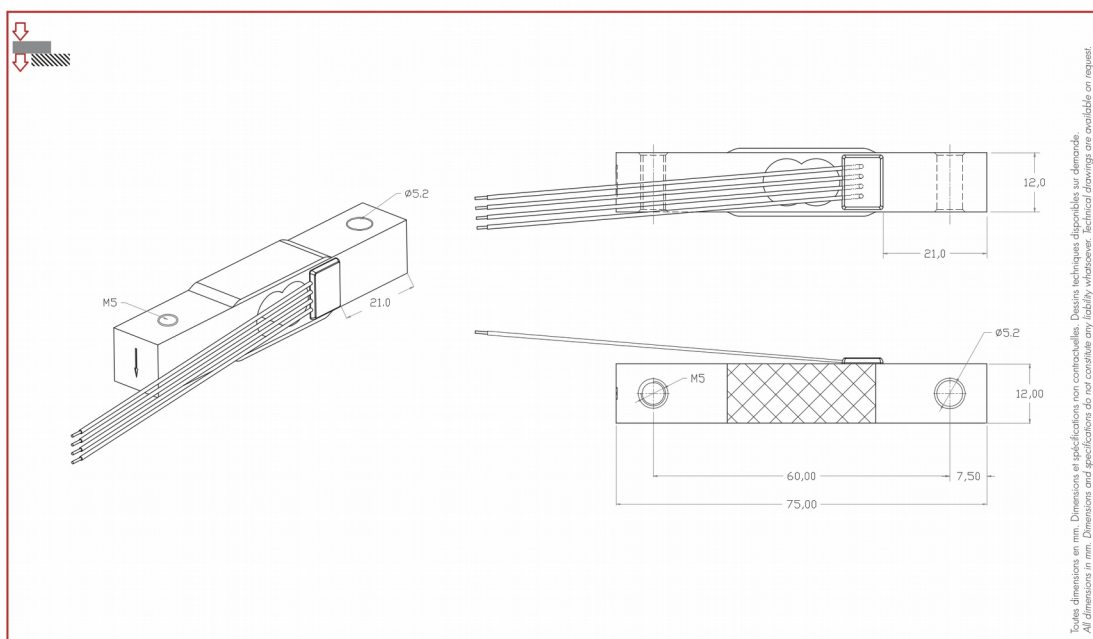


# BEF-F

## 3 kg ... 5 kg



- Construction en aluminium
- Classe de précision : 0.1 %
- Compact et simple à installer
- Idéal pour les applications de pesage ou de mesure d'effort à faible coût
- Excentration de charge compensée
- *Aluminum construction*
- *Accuracy class: 0.1 %*
- *Compact and easy to install*
- *Ideally suited for low cost weighing and force measurement applications*
- *Off-center load compensated*



### Câblage - Wiring

|          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
| + alim.  | + signal | - signal | - alim.  |
| + excit. | + signal | - signal | - excit. |
| rouge    | noir     | bleu     | blanc    |
| red      | black    | blue     | white    |



## Caractéristiques - Specifications

| MÉTROLOGIQUES                                    | METROLOGICAL                                      |                       |                   |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| Capacité nominale (Cn)                           | Rated capacity (Cn)                               | 3, 5                  | kg                |
| Erreur combinée                                  | Combined error                                    | ±0.1                  | %Cn               |
| Effet de la temp. sur le zéro                    | Temperature effect on zero                        | ±0.1                  | %Cn/°C            |
| Effet de la temp. sur la sensibilité             | Temperature effect on sensitivity                 | ±0.015                | %Cn/°C            |
| Fluage (30 min.)                                 | Creep error (30 min.)                             | ±0.1                  | %Cn               |
| Taille de plateau maximum                        | Maximum platform size                             | 150 x 150             | mm                |
| MÉTROLOGIE LÉGALE OIML R60                       | LEGAL METROLOGY OIML R60                          |                       |                   |
| Classe de précision                              | Accuracy class                                    | -                     |                   |
| Capacité maximale (E <sub>max</sub> )            | Maximum capacity (E <sub>max</sub> )              | -                     | kg                |
| Nombre max. d'échelons (n <sub>max</sub> )       | Max. number of LC intervals (n <sub>max</sub> )   | -                     | d OIML            |
| Échelon de vérification min. (v <sub>min</sub> ) | Minimum verification interval (v <sub>min</sub> ) | -                     | kg                |
| Z=E <sub>max</sub> /(2xDR)                       | Z=E <sub>max</sub> /(2xDR)                        | -                     |                   |
| ÉLECTRIQUES                                      | ELECTRICAL                                        |                       |                   |
| Plage de tension d'alimentation                  | Nominal range of excitation voltage               | 1 ... 15              | V                 |
| Sensibilité nominale à Cn                        | Rated output at Cn                                | 1.35 ±15%             | mV/V              |
| Plage de zéro initial                            | Zero balance                                      | ±1                    | mV/V              |
| Résistance d'entrée/sortie                       | Input/output resistance                           | 1 090 ±25 / 1 000 ±25 | Ω                 |
| Résistance d'isolement                           | Insulation resistance                             | 1 000                 | MΩ/50V            |
| GÉNÉRALES                                        | GENERAL                                           |                       |                   |
| Plage de temp. compensée                         | Compensated temperature range                     | +10 ... +40           | °C                |
| Plage de temp. de fonctionnement                 | Service temperature range                         | -20 ... +60           | °C                |
| Charge limite admissible                         | Safe load limit                                   | 150                   | %E <sub>max</sub> |
| Charge ultime avant rupture                      | Ultimate overload                                 | 200                   | %E <sub>max</sub> |
| Couple de serrage                                | Tightening torque                                 | ~5                    | Nm                |
| Degré de protection                              | Protection class                                  | IP60                  | EN 60529          |
| Matière                                          | Material                                          | Aluminium - Aluminum  |                   |
| Corps d'épreuve                                  | Measuring body                                    |                       |                   |
| Presse étoupe                                    | Cable gland                                       |                       |                   |
| Gaine de câble                                   | Cable sheath                                      |                       |                   |
| Longueur du câble                                | Cable length                                      | 0.18                  | m                 |
| Poids net                                        | Net weight                                        | 22                    | g                 |

## Options - Options

## Accessoires - Accessoires



Siège Social - Headquarter : Technosite Altéa - 294, Rue Georges Charpak - 74100 JUVIGNY - FRANCE  
 SCAIME SAS - 294, RUE GEORGES CHARPAK - CS 50501 - 74105 ANNEMASSE CEDEX - FRANCE  
 Tél. : +33 (0)4 50 87 78 64 - Fax : +33 (0)4 50 87 78 46 - info@scaime.com - [www.scaime.com](http://www.scaime.com)  
 Téléchargez tous nos documents sur notre site internet - Download all our documents on our website



## TP 5 : MESURES DE R EN 4 FILS ERREURS D'AUTOECHAUFFEMENT

### MATERIEL SPECIFIQUE :

- Sonde RPT100 :

#### 1. Mesure de résistance en "4 FILS"

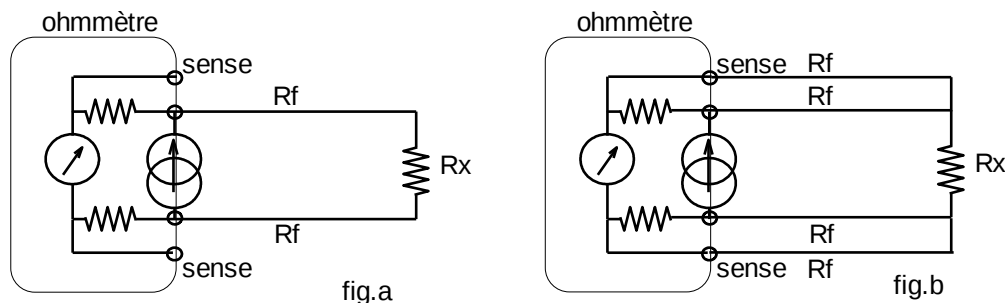
##### a. Principe

Cette méthode permet de s'affranchir de la résistance des fils de liaison et est donc à utiliser lorsque celle-ci n'est pas négligeable devant la résistance à mesurer. Si  $R_x$  désigne la résistance à mesurer et  $R_f$  celle d'un des fils de liaison (supposés tous identiques) :

en "2 fils" (fig.a), on mesure  $R_x + 2R_f$

en "4 fils" (fig.b), on mesure  $R_x$ .

Expliquer pourquoi.



n.b. : Les résistances additionnelles ( $\sim 100 \text{ k}\Omega$ ) situées entre les bornes du ohmmètre et les bornes « sense » n'interviennent pas car elles sont d'une part très supérieures à  $R_f$ , et d'autre part très inférieures à la résistance d'entrée du voltmètre.

#### 1.2 Manipulation.

4. Court-circuiter les entrées de l'appareil de mesure pour "faire le zéro" de l'ohmmètre.
5. En utilisant des fils de mesure de 1 mètre tous identiques mesurer  $R_x + 2R_f$  en opérant "en 2 fils" (fig. a), puis mesurer ensuite  $R_x$  en opérant "en 4 fils". Indiquer:
  - la vraie valeur de  $R_x$
  - la valeur de  $R_f$  déduite des mesures précédentes
  - les erreurs absolue et relative que l'on ferait en utilisant la mesure 2 fils de la fig.a sans discernement, c'est-à-dire en croyant mesurer  $R_x$  alors que l'on mesure  $R_x + 2R_f$

- la valeur de  $R_x$  obtenue par une mesure directe aux bornes de l'appareil (donc sans fils de mesure)

Avec un appareil tel que le DMM 2000, on peut cependant faire une mesure précise en 2 fils à condition de prendre en compte les fils de liaison quand on fait le zéro de l'ohmmètre. Indiquer la valeur de  $R_x$  mesurée "en 2 fils" dans ces conditions et la comparer à celle précédemment obtenue.

Quelle méthode préférer dans une ambiance propre (laboratoire) ou difficile (mesure industrielle) ?

Sur la gamme 1 kΩ, quelle serait la valeur maximale admissible de  $R_i$  pour que l'erreur sur la mesure d'une résistance de l'ordre de 100 Ω reste admissible même dans le cas d'une mesure en 2 fils non compensés.

## 2. Autoéchauffement d'un capteur résistif de température.

### 2.1 Théorie

Soit  $T_{Ci}$  la température du capteur traversé par le courant  $I$  et  $T_C$  la température (inconnue) qu'aurait le capteur en l'absence de  $I$  : la différence  $T_{Ci} - T_C$  est l'erreur due à l'autoéchauffement.

On notera dans la suite les conductances thermiques par  $G$  et les résistances **thermiques** par  $Z$ , affectées des indices des milieux concernés : C: capteur X: milieu étudié A: milieu ambiant.

$T_{Ci}$  résulte de 3 apports de puissance :

$G_{XC} \cdot (T_X - T_{Ci})$  venant du milieu étudié à la température  $T_X$

$G_{AC} \cdot (T_A - T_{Ci})$  venant du milieu ambiant à la température  $T_A$

$R_{Ci} \cdot I^2$  : effet Joule ( $R_{Ci}$  = Résistance **électrique** du capteur à  $T_{Ci}$ )

Montrer que l'on peut écrire, à l'équilibre thermique :

$$T_{Ci} = \frac{G_{XC} T_X + G_{AC} T_A + R_{Ci} I^2}{G_{XC} + G_{AC}}$$

Dans la suite, on négligera  $G_{AC}$  devant  $G_{XC}$ .

Montrer que l'erreur due à l'autoéchauffement peut alors s'écrire :

$$T_{Ci} - T_X = Z_{XC} \cdot R_{Ci} \cdot I^2$$

Il faut évaluer cette erreur, pour corriger au besoin la courbe d'étalonnage dans les conditions d'utilisation du capteur. Comme le constructeur ne fournit pas forcément la valeur de  $Z_{XC}$  dans ces conditions particulières, on réalise deux mesures successives sur le capteur in situ, pour deux courants de mesure  $I_1$  et  $I_2$ , et pour la même température du milieu. Des couples de valeurs de  $R_{C1}$ ,  $T_{C1}$  et  $R_{C2}$ ,  $T_{C2}$  qui en résultent on déduit pour tout courant de mesure  $I$  :

$$Z_{XC} = \frac{T_{C2} - T_{C1}}{R_{C2} I_2^2 - R_{C1} I_1^2}; \quad T_{Ci} - T_X = Z_{XC} R_{Ci} I^2 = \left( \frac{T_{C2} - T_{C1}}{R_{C2} I_2^2 - R_{C1} I_1^2} \right) \cdot R_{Ci} I^2$$

Autre façon de considérer les choses : si l'on admet que le coefficient de température  $h$  de la résistance thermométrique est constant entre les températures  $T_{C1}$  et  $T_{C2}$ , on peut écrire :

$$\begin{aligned} R_{C1} &= R_C (1 + h \cdot (T_{C1} - T_X)) \quad \text{avec} \quad T_{C1} - T_X = Z_{XC} \cdot R_{C1} \cdot I_1^2 \\ R_{C2} &= R_C (1 + h \cdot (T_{C2} - T_X)) \quad \text{avec} \quad T_{C2} - T_X = Z_{XC} \cdot R_{C2} \cdot I_2^2 \end{aligned}$$

On peut en déduire la valeur de  $R_C$  à  $I$  nul, puis celle de  $T_C$ , qui est assimilée à  $T_X$  dès lors que  $G_{AC}$  est négligée :

$$R_C = \frac{(n^2 - 1) R_{C1} R_{C2}}{n^2 R_{C2} - R_{C1}} \quad \text{où} \quad n = \frac{I_2}{I_1}$$

## 2.2 Manipulation.

Brancher la sonde Pt100 en série avec la résistance  $R_x$  que vous avez caractérisée dans la première partie. Alimenter avec une tension continue  $E = E_1$  de **1 V** dans un premier temps comme indiqué sur la figure 2.

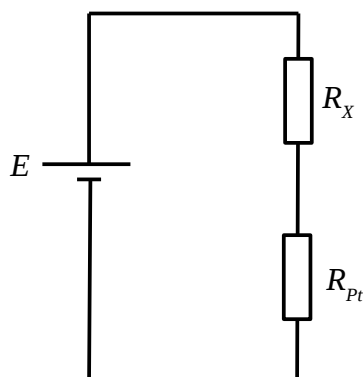


Fig2.

En mesurant la tension  $V_{x1}$ , déterminer le courant  $I_1$  qui traverse les deux résistances et en mesurant  $V_{C1}$  (la tension aux bornes de la sonde Pt100) la résistance  $R_{pt} = R_{C1}$ . Répéter l'opération pour une tension  $E = E_2 = \mathbf{9V}$  pour déterminer  $I_2$  et  $R_{C2}$ .

A partir de vos deux séries de mesures, déduire :

- les températures  $T_{c1}$  et  $T_{c2}$  de la sonde Pt100 obtenues lorsque la sonde est parcourue par un courant  $I_1$  et  $I_2$  respectivement
- la résistance thermique  $Z_{xc}$
- l'erreur d'autoéchauffement comise lors d'une mesure de la sonde sous les courants  $I_1$  et  $I_2$
- la température exacte  $T_x$  du milieu et la valeur  $R_C$  de la sonde qui lui correspond.

Comparer cette valeur à celle mesurée directement par le DMM2000 utilisé en ohmmètre et estimer la valeur du courant délivré par le DMM2000 en mode ohmètre.

Tableau de variation de  $R_{Pt100}$  (en  $\Omega$ ) en fonction de la température  $\theta$  (en  $^{\circ}\text{C}$ ).

| $\theta$ | +0     | +1     | +2     | +3     | +4     | +5     | +6     | +7     | +8     | +9     |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0        | 100,00 | 100,39 | 100,78 | 101,17 | 101,56 | 101,94 | 102,33 | 102,72 | 103,11 | 103,59 |
| +10      | 103,89 | 104,28 | 104,67 | 105,06 | 105,45 | 105,84 | 106,23 | 106,62 | 107,01 | 107,40 |
| +20      | 107,79 | 108,18 | 108,57 | 108,95 | 109,34 | 109,73 | 110,12 | 110,51 | 110,89 | 111,28 |
| +30      | 111,67 | 112,06 | 112,44 | 112,83 | 113,22 | 113,60 | 113,99 | 114,38 | 114,77 | 115,15 |
| +40      | 115,54 | 115,93 | 116,31 | 116,70 | 117,08 | 117,47 | 117,86 | 118,24 | 118,63 | 119,01 |
| +50      | 119,40 | 119,78 | 120,16 | 120,55 | 120,93 | 121,32 | 121,70 | 122,09 | 122,47 | 122,86 |

2000

## 6½-Digit Multimeter

## DC Characteristics

Conditions: MED (1 PLC)<sup>1</sup> or SLOW (10 PLC)  
or MED (1 PLC) with filter of 10

Accuracy:  $\pm(\text{ppm of reading} + \text{ppm of range})$   
(ppm = parts per million)  
(e.g., 10ppm = 0.001%)

| Function                 | Range                                 | Resolution        | Test Current<br>or Burden Voltage<br>( $\pm 5\%$ ) | Input<br>Resistance     | 24 Hour <sup>14</sup><br>23°C $\pm 1^\circ$ | 90 Day<br>23°C $\pm 5^\circ$ | 1 Year<br>23°C $\pm 5^\circ$ | Temperature<br>Coefficient<br>0°–18°C and 28°–50°C |
|--------------------------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------|
| Voltage                  | 100.0000 mV                           | 0.1 $\mu\text{V}$ |                                                    | > 10 G $\Omega$         | 30 + 30                                     | 40 + 35                      | 50 + 35                      | 2 + 6                                              |
|                          | 1.000000 V                            | 1.0 $\mu\text{V}$ |                                                    | > 10 G $\Omega$         | 15 + 6                                      | 25 + 7                       | 30 + 7                       | 2 + 1                                              |
|                          | 10.00000 V                            | 10 $\mu\text{V}$  |                                                    | > 10 G $\Omega$         | 15 + 4                                      | 20 + 5                       | 30 + 5                       | 2 + 1                                              |
|                          | 100.0000 V                            | 100 $\mu\text{V}$ |                                                    | 10 M $\Omega$ $\pm 1\%$ | 15 + 6                                      | 30 + 6                       | 45 + 6                       | 5 + 1                                              |
|                          | 1000.000 V <sup>9</sup>               | 1 mV              |                                                    | 10 M $\Omega$ $\pm 1\%$ | 20 + 6                                      | 35 + 6                       | 45 + 6                       | 5 + 1                                              |
| Resistance <sup>15</sup> | 100.0000 $\Omega$                     | 100 $\mu\Omega$   | 1 mA                                               |                         | 30 + 30                                     | 80 + 40                      | 100 + 40                     | 8 + 6                                              |
|                          | 1.000000 k $\Omega$                   | 1 m $\Omega$      | 1 mA                                               |                         | 20 + 6                                      | 80 + 10                      | 100 + 10                     | 8 + 1                                              |
|                          | 10.00000 k $\Omega$                   | 10 m $\Omega$     | 100 $\mu\text{A}$                                  |                         | 20 + 6                                      | 80 + 10                      | 100 + 10                     | 8 + 1                                              |
|                          | 100.0000 k $\Omega$                   | 100 m $\Omega$    | 10 $\mu\text{A}$                                   |                         | 20 + 6                                      | 80 + 10                      | 100 + 10                     | 8 + 1                                              |
|                          | 1.000000 M $\Omega$ <sup>16</sup>     | 1 $\Omega$        | 1 $\mu\text{A}$                                    |                         | 20 + 6                                      | 80 + 10                      | 100 + 10                     | 8 + 1                                              |
|                          | 10.00000 M $\Omega$ <sup>11, 16</sup> | 10 $\Omega$       | 700 nA // 10M $\Omega$                             |                         | 150 + 6                                     | 200 + 10                     | 400 + 10                     | 95 + 1                                             |
|                          | 100.0000 M $\Omega$ <sup>11, 16</sup> | 100 $\Omega$      | 700 nA // 10M $\Omega$                             |                         | 800 + 30                                    | 1500 + 30                    | 1500 + 30                    | 900 + 1                                            |
| Current                  | 10.00000 mA                           | 10 nA             | < 0.15 V                                           |                         | 60 + 30                                     | 300 + 80                     | 500 + 80                     | 50 + 5                                             |
|                          | 100.0000 mA                           | 100 nA            | < 0.03 V                                           |                         | 100 + 300                                   | 300 + 800                    | 500 + 800                    | 50 + 50                                            |
|                          | 1.000000 A                            | 1 $\mu\text{A}$   | < 0.3 V                                            |                         | 200 + 30                                    | 500 + 80                     | 800 + 80                     | 50 + 5                                             |
|                          | 3.00000 A                             | 10 $\mu\text{A}$  | < 1 V                                              |                         | 1000 + 15                                   | 1200 + 40                    | 1200 + 40                    | 50 + 5                                             |
| Continuity 2W            | 1 k $\Omega$                          | 100 m $\Omega$    | 1 mA                                               |                         | 40 + 100                                    | 100 + 100                    | 120 + 100                    | 8 + 1                                              |
| Diode Test               | 3.00000 V                             | 10 $\mu\text{V}$  | 1 mA                                               |                         | 20 + 6                                      | 30 + 7                       | 40 + 7                       | 8 + 1                                              |
|                          | 10.00000 V                            | 10 $\mu\text{V}$  | 100 $\mu\text{A}$                                  |                         | 20 + 6                                      | 30 + 7                       | 40 + 7                       | 8 + 1                                              |
|                          | 10.00000 V                            | 10 $\mu\text{V}$  | 10 $\mu\text{A}$                                   |                         | 20 + 6                                      | 30 + 7                       | 40 + 7                       | 8 + 1                                              |

DC OPERATING CHARACTERISTICS<sup>2</sup>

| Function              | Digits             | Readings/s | PLCs <sup>8</sup> |
|-----------------------|--------------------|------------|-------------------|
| DCV (all ranges),     | 6½ <sup>3, 4</sup> | 5          | 10                |
| DCI (all ranges), and | 6½ <sup>3, 7</sup> | 30         | 1                 |
| Ohms (<10M range)     | 6½ <sup>3, 5</sup> | 50         | 1                 |
|                       | 5½ <sup>3, 5</sup> | 270        | 0.1               |
|                       | 5½ <sup>5</sup>    | 500        | 0.1               |
|                       | 5½ <sup>5</sup>    | 1000       | 0.04              |
|                       | 4½ <sup>5</sup>    | 2000       | 0.01              |

DC SYSTEM SPEEDS<sup>2, 6</sup>

RANGE CHANGE<sup>3</sup>: 50/s.

FUNCTION CHANGE<sup>3</sup>: 45/s.

AUTORANGE TIME<sup>3, 10</sup>: <30ms.

ASCII READINGS TO RS-232 (19.2K BAUD): 55/s.

MAX. INTERNAL TRIGGER RATE: 2000/s.

MAX. EXTERNAL TRIGGER RATE: 400/s.

## DC GENERAL

LINEARITY OF 10VDC RANGE:  $\pm(1\text{ppm of reading} + 2\text{ppm of range})$ .

DCV,  $\Omega$ , TEMPERATURE, CONTINUITY, DIODE TEST INPUT PROTECTION: 1000V, all ranges.

MAXIMUM 4W $\Omega$  LEAD RESISTANCE: 10% of range per lead for 100 $\Omega$  and 1k $\Omega$  ranges; 1k $\Omega$  per lead for all other ranges.

DC CURRENT INPUT PROTECTION: 3A, 250V fuse.

SHUNT RESISTOR: 0.1 $\Omega$  for 3A, 1A, and 100mA ranges. 10 $\Omega$  for 10mA range.

CONTINUITY THRESHOLD: Adjustable 1 $\Omega$  to 1000 $\Omega$ .

AUTOZERO OFF ERROR: Add  $\pm(2\text{ppm of range error} + 5\mu\text{V})$  for <10 minutes and  $\pm 1^\circ\text{C}$  change.

OVERRANGE: 120% of range except on 1000V, 3A, and diode.

## SPEED AND NOISE REJECTION

| Rate     | Readings/s | Digits | RMS Noise 10V<br>Range | NMRR <sup>12</sup> | CMRR <sup>13</sup> |
|----------|------------|--------|------------------------|--------------------|--------------------|
|          |            |        |                        |                    |                    |
| 10 PLC   | 5          | 6½     | < 1.5 $\mu\text{V}$    | 60 dB              | 140 dB             |
| 1 PLC    | 50         | 6½     | < 4 $\mu\text{V}$      | 60 dB              | 140 dB             |
| 0.1 PLC  | 500        | 5½     | < 22 $\mu\text{V}$     | —                  | 80 dB              |
| 0.01 PLC | 2000       | 4½     | < 150 $\mu\text{V}$    | —                  | 80 dB              |

## DC NOTES

- Add the following to "ppm of range" uncertainty: 1V and 100V, 2ppm; 100mV, 15ppm; 100 $\Omega$ , 15ppm; 1k $\Omega$ –<1M $\Omega$ , 2ppm; 10mA and 1A, 10ppm; 100mA, 40ppm.
- Speeds are for 60Hz operation using factory default operating conditions (\*RST). Autorange off, Display off, Trigger delay = 0.
- Speeds include measurement and binary data transfer out the GPIB.
- Auto zero off.
- Sample count = 1024, auto zero off.
- Auto zero off, NPLC = 0.01.
- Ohms = 24 readings/second.
- 1 PLC = 16.67ms @ 60Hz, 20ms @ 50Hz/400Hz. The frequency is automatically determined at power up.
- For signal levels >500V, add 0.02ppm/V uncertainty for the portion exceeding 500V.
- Add 120ms for ohms.
- Must have 10% matching of lead resistance in Input HI and LO.
- For line frequency  $\pm 0.1\%$ .
- For 1k $\Omega$  unbalance in LO lead.
- Relative to calibration accuracy.
- Specifications are for 4-wire ohms. For 2-wire ohms, add 1 $\Omega$  additional uncertainty.
- For rear inputs, add the following to temperature coefficient "ppm of reading" uncertainty 10M $\Omega$  95ppm, 100M $\Omega$  900ppm. Operating environment specified for 0° to 50°C and 50% RH at 35°C.

1.888.KEITHLEY (U.S. only)

www.keithley.com

KEITHLEY

A GREATER MEASURE OF CONFIDENCE