



## 4b.

# Piezodoporové senzory tlaku

**Přednášející:** prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

[husak@fel.cvut.cz](mailto:husak@fel.cvut.cz),  
<http://micro.feld.cvut.cz>

tel.: 2 2435 2267

**Cvičící:**

Ing. Adam Bouřa, Ph.D.

Ing. Alexandr Laposa, Ph.D.

Ing. Tomáš Teplý



# Jednotky tlaku a převody

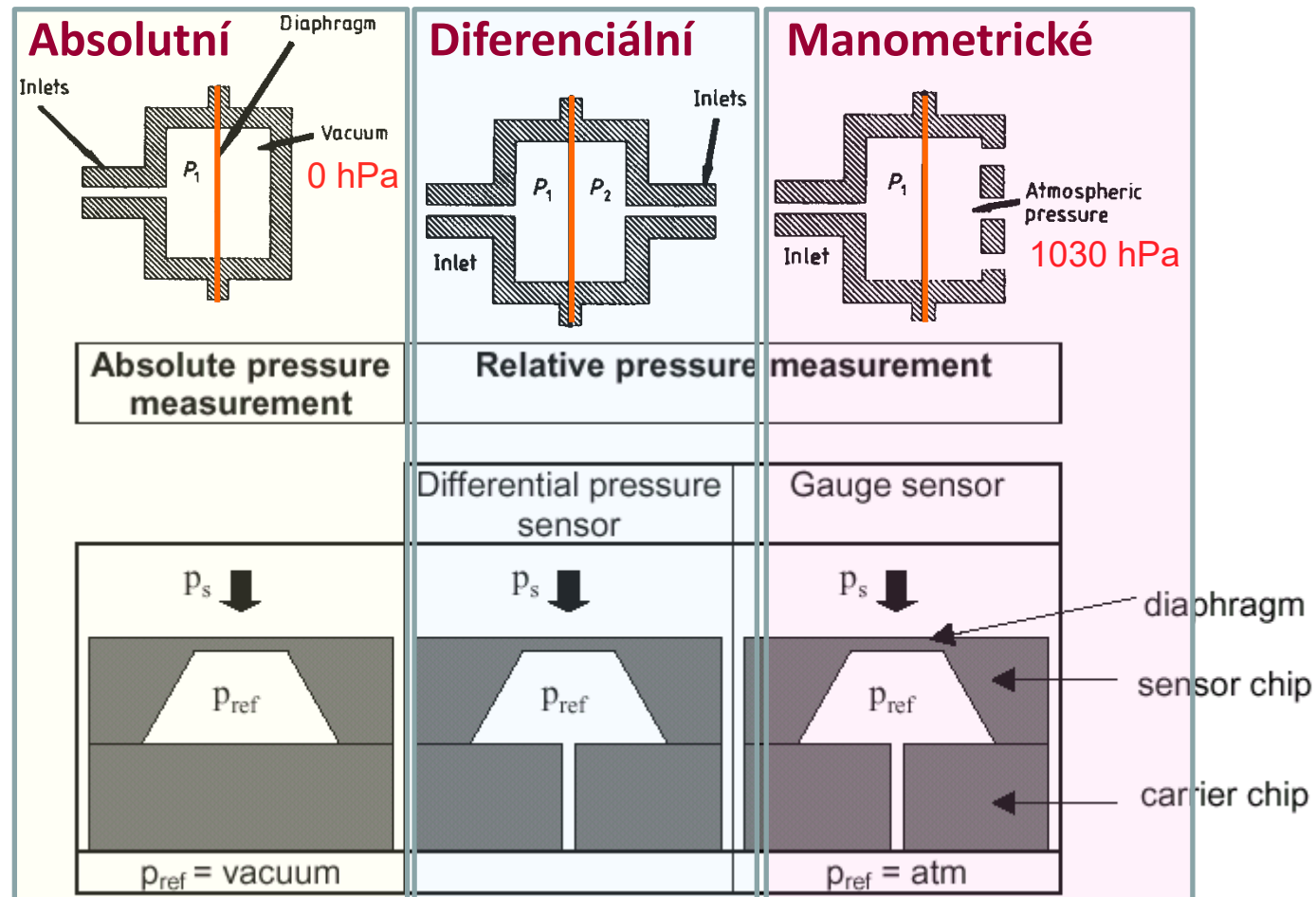
|                       | bar                     | PSI                     | Pa     | kPa                    | inch H <sub>2</sub> O   | cm H <sub>2</sub> O     | mmHg                    |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| bar                   | 1                       | 14.504                  | $10^5$ | 100                    | 401.47                  | 1019.73                 | 750.06                  |
| PSI                   | 0.06895                 | 1                       | 6894.7 | 6.8947                 | 27.68                   | 70.308                  | 51.715                  |
| Pa                    | $10^{-5}$               | $145.04 \times 10^{-6}$ | 1      | $10^{-3}$              | $4.0147 \times 10^{-3}$ | $10.197 \times 10^{-3}$ | $7.5006 \times 10^{-3}$ |
| kPa                   | 0.01                    | 0.14504                 | 1000   | 1                      | 4.0147                  | 10.197                  | 7.5006                  |
| inch H <sub>2</sub> O | $2.491 \times 10^{-3}$  | 0.03613                 | 249.1  | 0.2491                 | 1                       | 2.54                    | 1.8683                  |
| cm H <sub>2</sub> O   | $980.6 \times 10^{-6}$  | $14.22 \times 10^{-3}$  | 98.06  | $98.06 \times 10^{-3}$ | 0.3937                  | 1                       | 0.7355                  |
| mm Hg                 | $1.3332 \times 10^{-3}$ | 0.01934                 | 133.2  | 0.1332                 | 0.53525                 | 1.3595                  | 1                       |



# jednotky tlaku a převody

# Senzory tlaku – rozdělení

- **Absolutní** – tlak působí na jednu stranu membrány, na druhou referenční tlak (vakuum)
- **Diferenciální** – tlaky působí na obě strany membrány, měří se rozdíl tlaků
- **Manometrické** – diferenciální, referenční tlak je atmosférický tlak

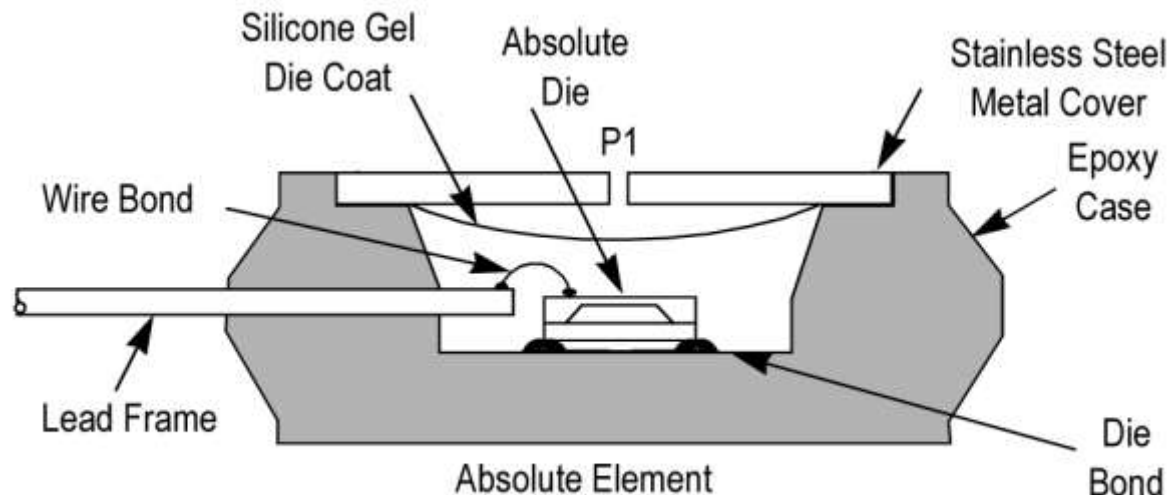


? Nakreslete princip činnosti tlakového senzoru pro měření absolutního tlaku a senzoru pro měření diferenciálního tlaku.

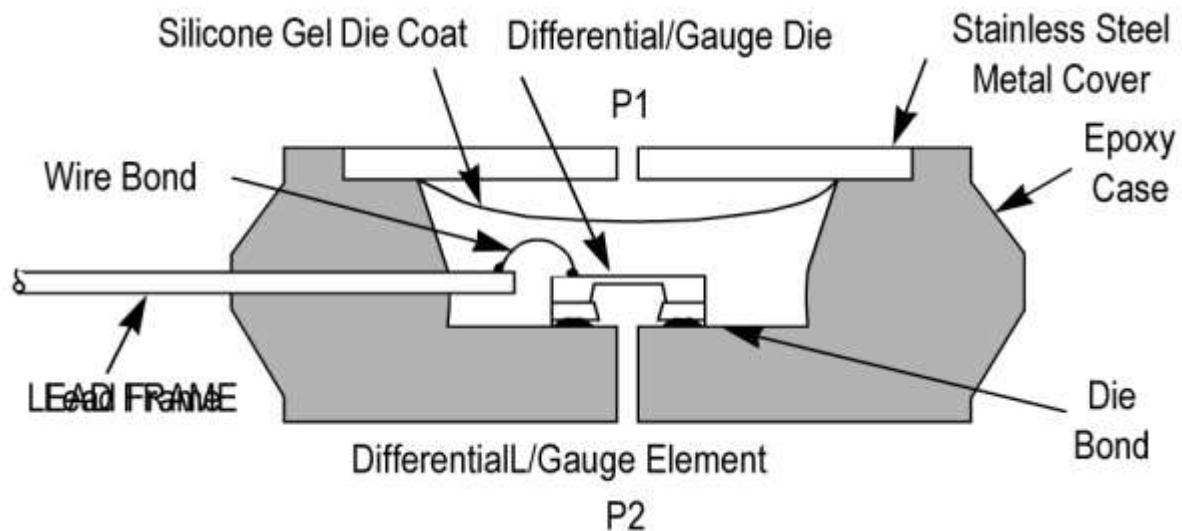


# Senzory tlaku – v pouzdře

## Absolutní

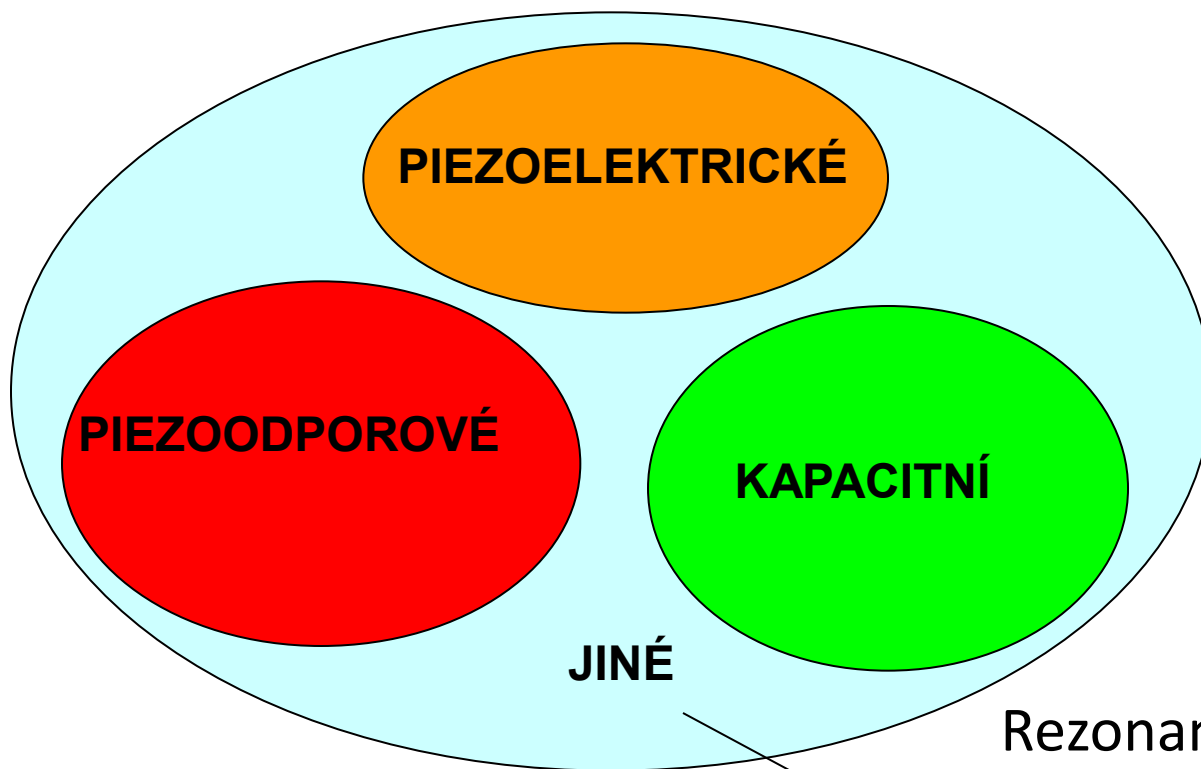


## Diferenciální



# Senzory tlaku polovodičové – rozdělení

Zkouška



? Napište alespoň 3 základní typy polovodičových tlakových senzorů

Rezonance  
přechod pn  
optické  
ultrazvuk  
atd.

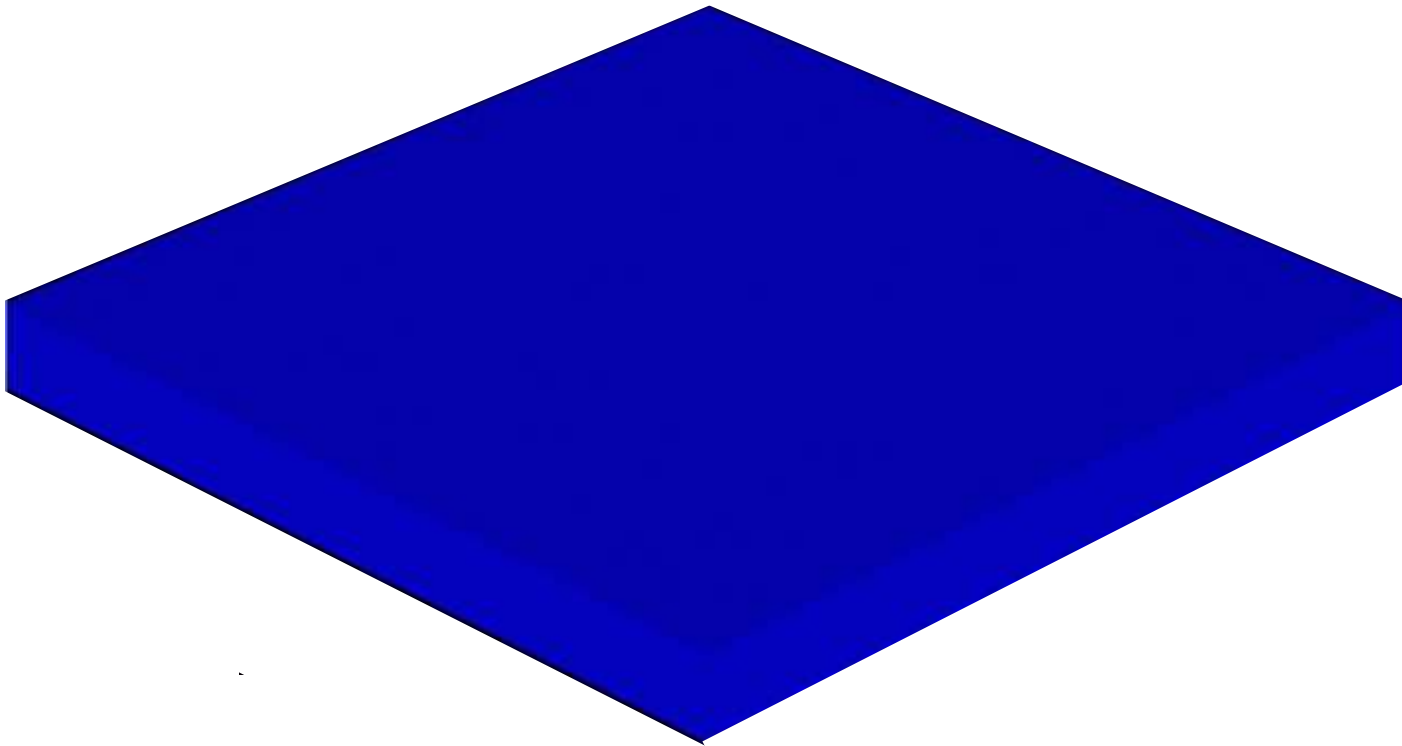


# Piezoodporové senzory tlaku - uspořádání



# Piezodoporové senzory tlaku – uspořádání

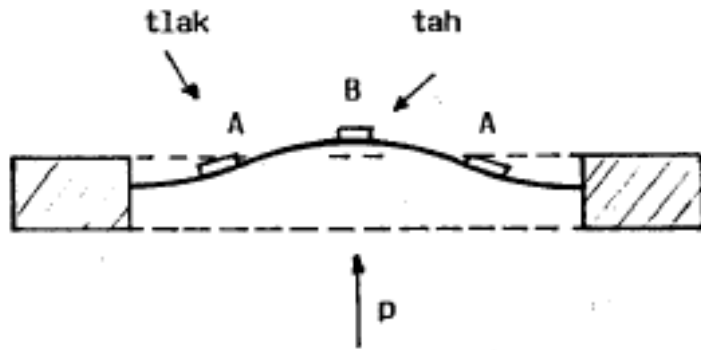
Membrána - mechanické namáhání, uspořádání tenzometrů



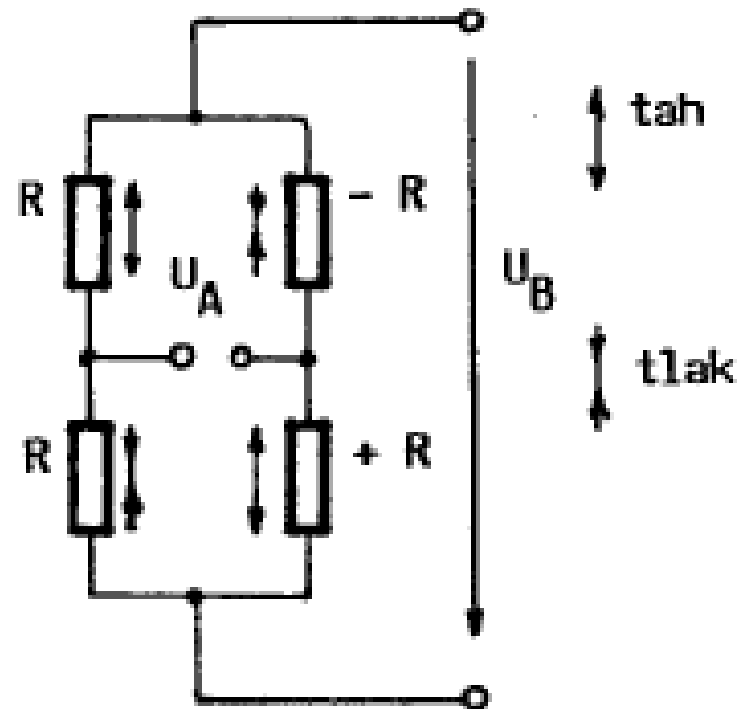
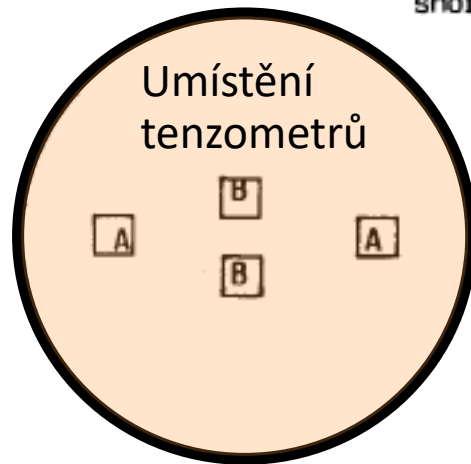


# Piezodoporové senzory tlaku – uspořádání

Zkouška



pohled shora



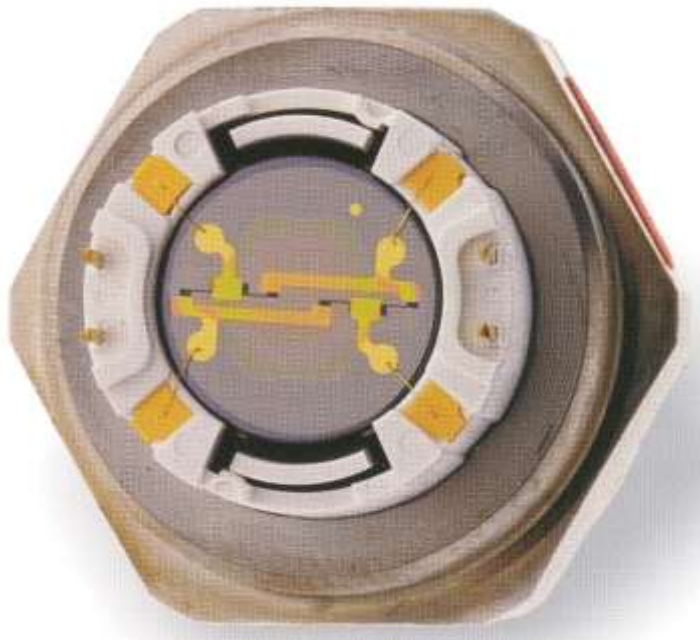
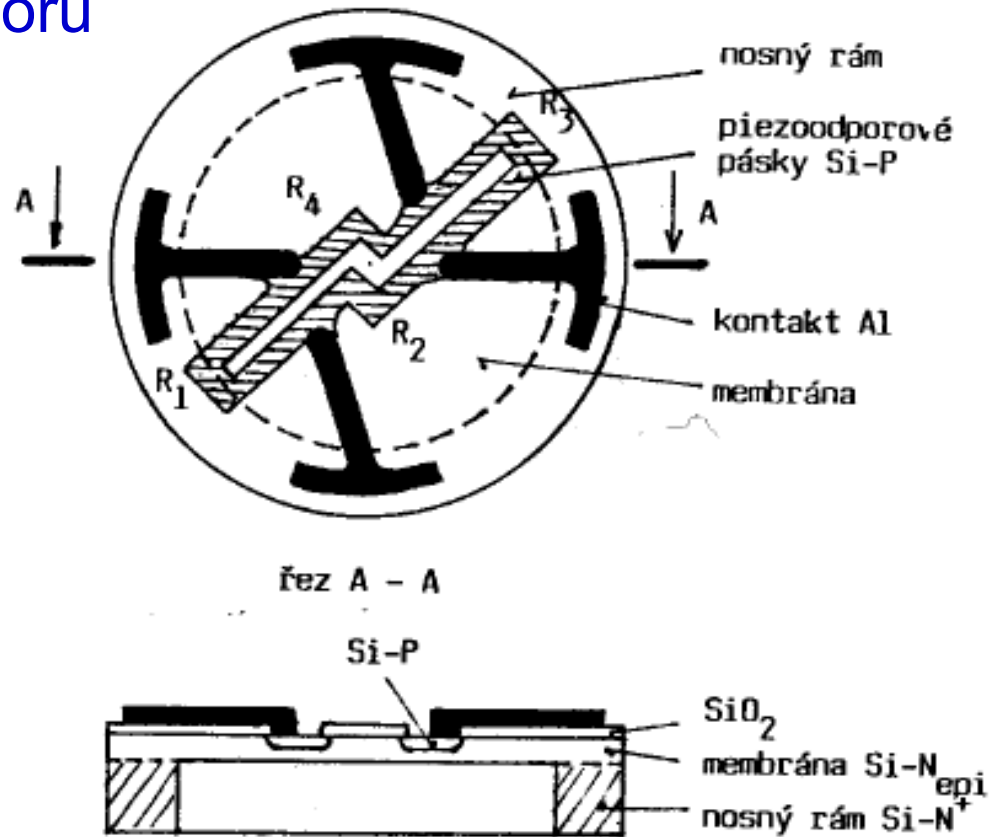
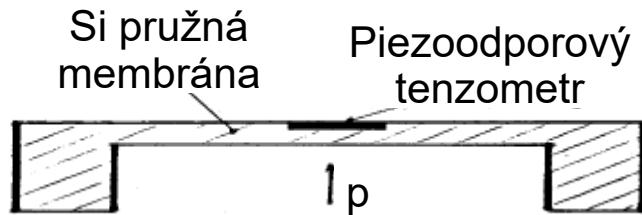
? Nakreslete základní uspořádání piezoelektrického tlakového senzoru se 4 piezodoporovými tenzometry na membráně.

Nakreslete obvodové zapojení s můstkem pro vyhodnocování signálu ze 4 piezodoporů tlakového senzoru.

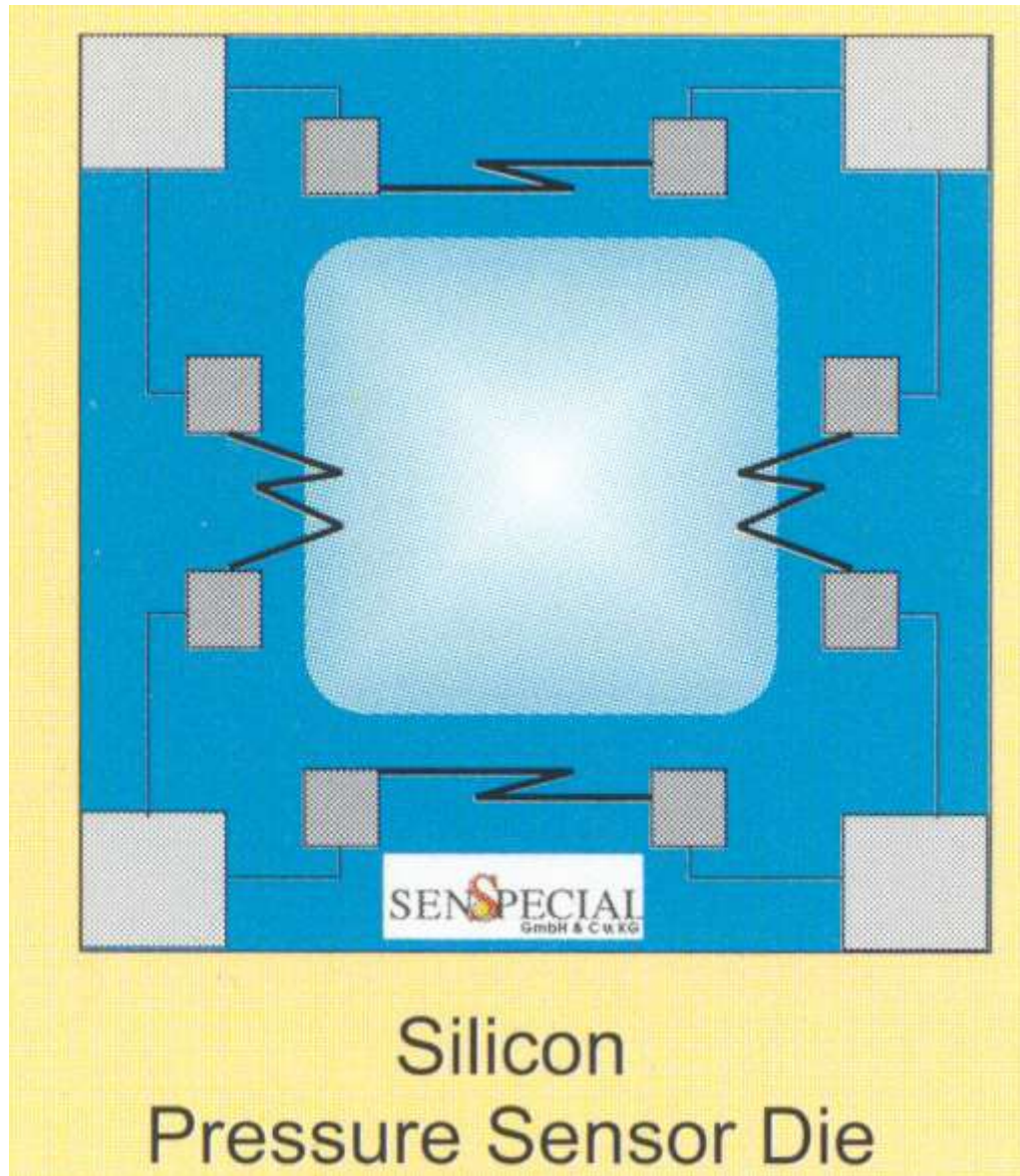


# Uspořádání piezoodporů (tenzometrů) na membráně

## Příklad layout tlakového senzoru

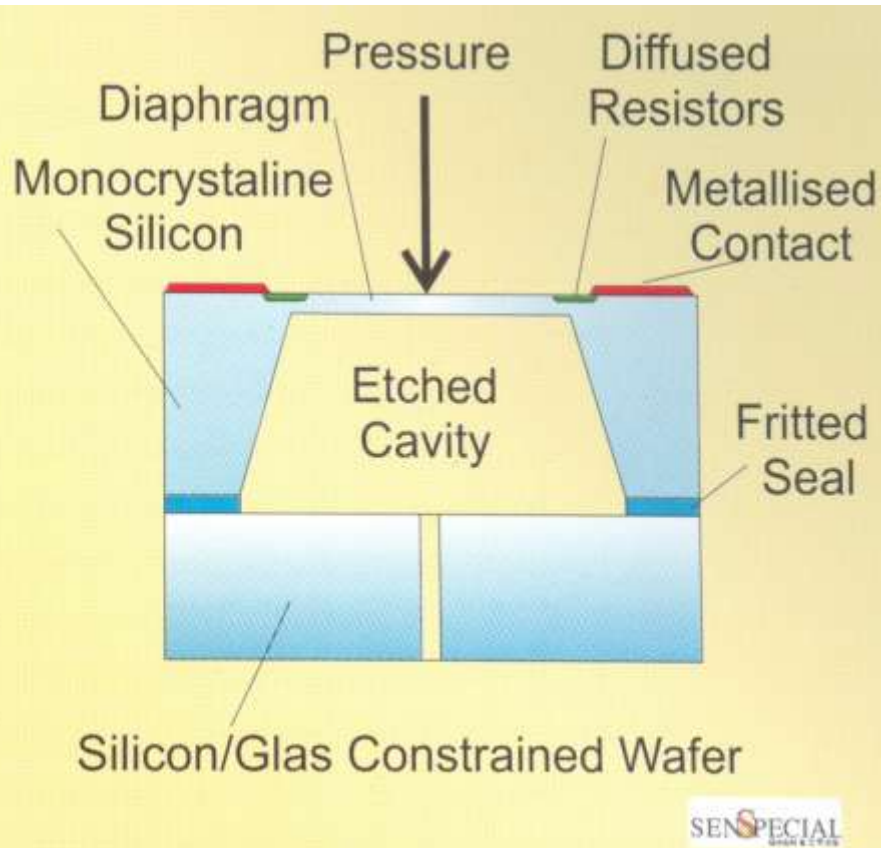


# Uspořádání piezodoporů (tenzometrů) na membráně



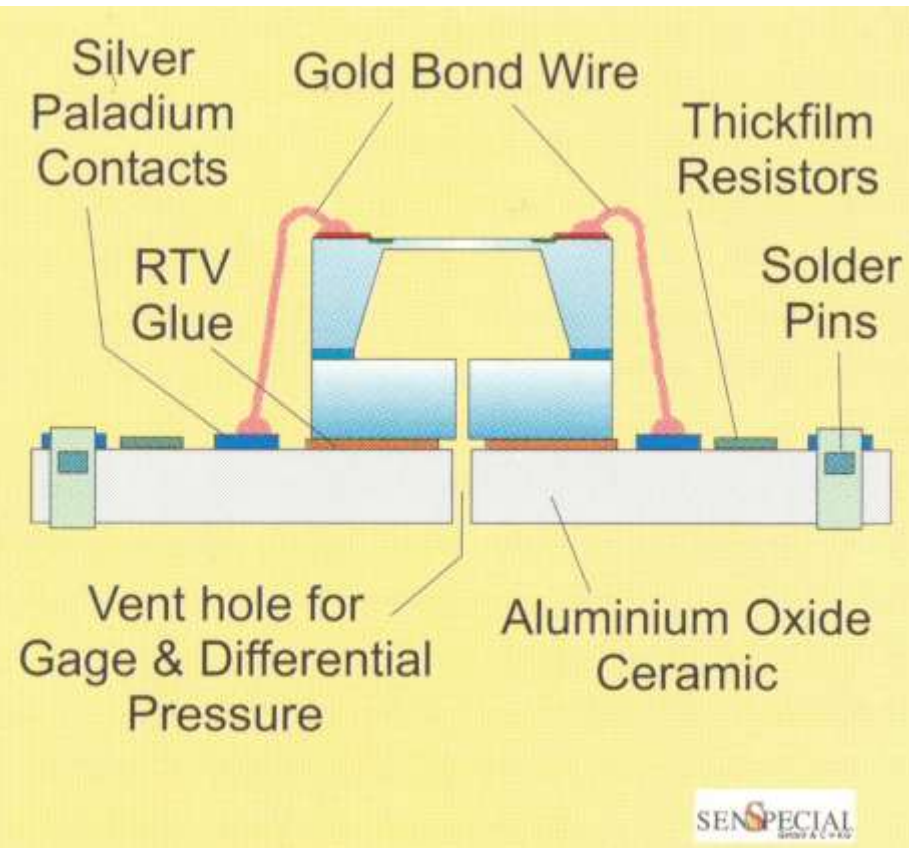
# Integrované piezoodporové senzory tlaku

## Integrovaný jednočipový (monolitický)



Cross Section of a Sensor Chip

## Hybridní struktura (lepený)



Cross Section of a Sensor Hybrid

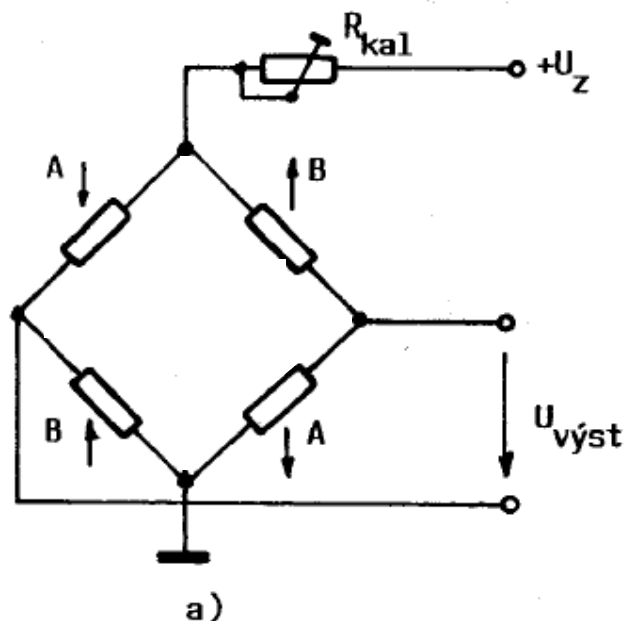
# Zpracování signálu z piezoodporů, teplotní kompenzace



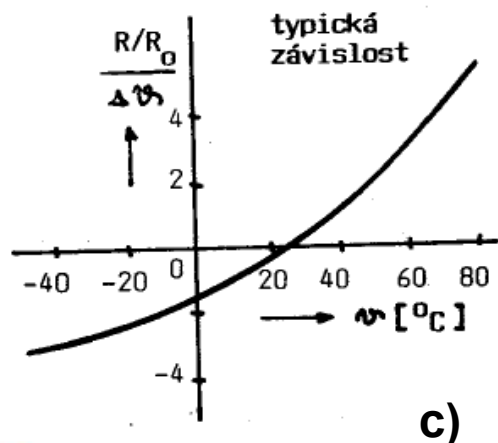
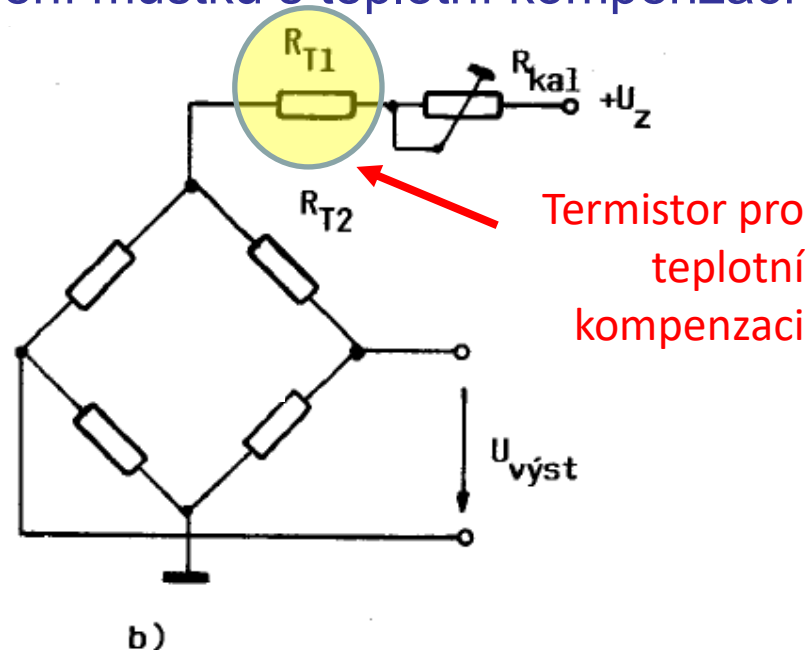


# Zpracování signálu z piezodoporů + kompenzace

## Základní zapojení můstku



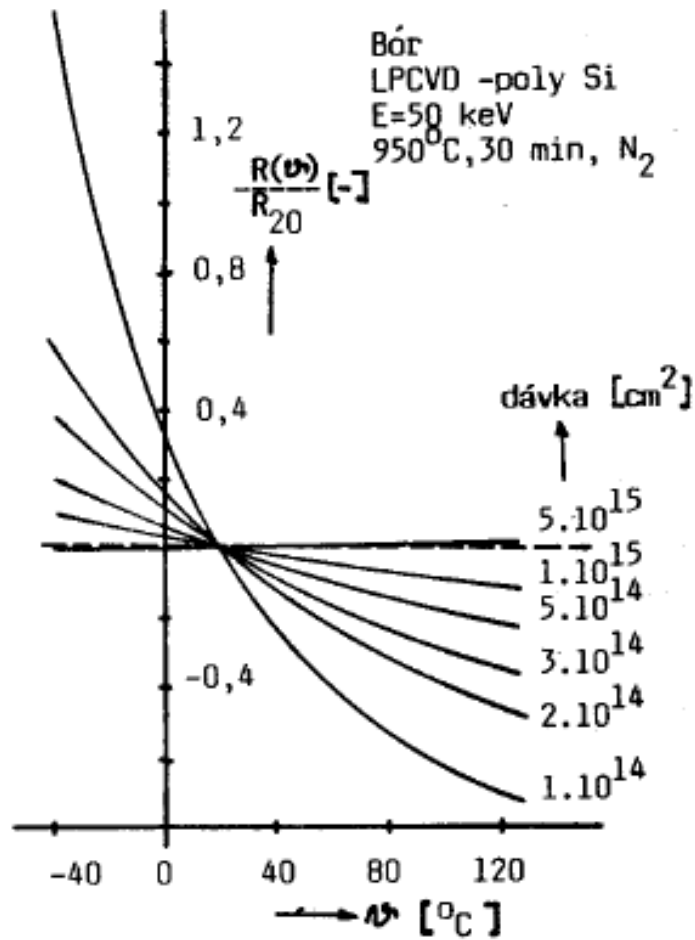
## Zapojení můstku s teplotní kompenzací



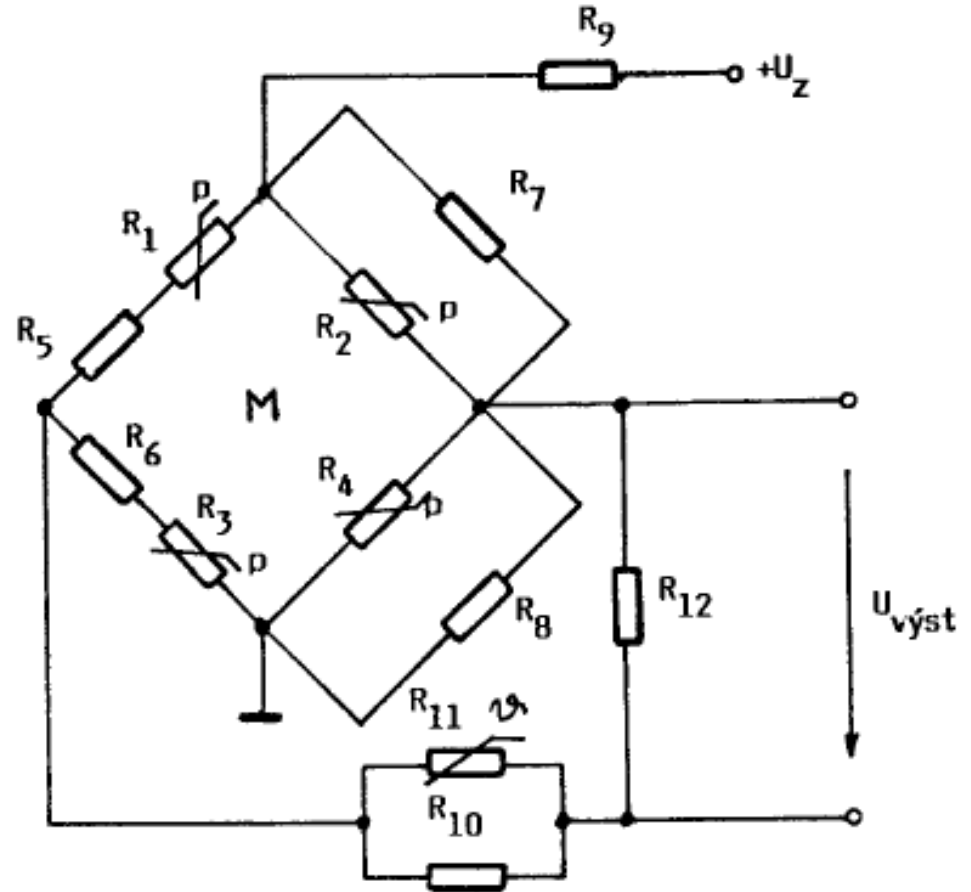
Typická teplotní závislost piezodoporů (pouze pro informaci)

? Nakreslete zjednodušené elektronické obvodové zapojení s můstkem pro vyhodnocování signálu z piezodoporů tlakového senzoru. Do zapojení nakreslete princip jednoduché teplotní kompenzace s termistorem.

# Zpracování signálu z piezodoporů + kompenzace

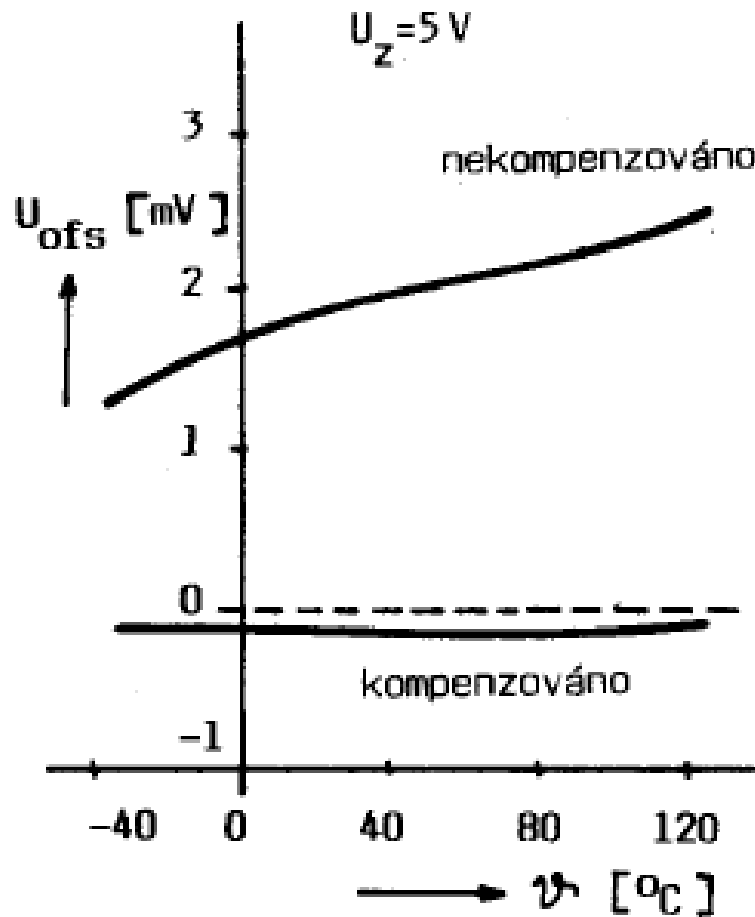


Relativní odporová změna poly-Si odporů jako funkce teploty (Si dotovaný B)

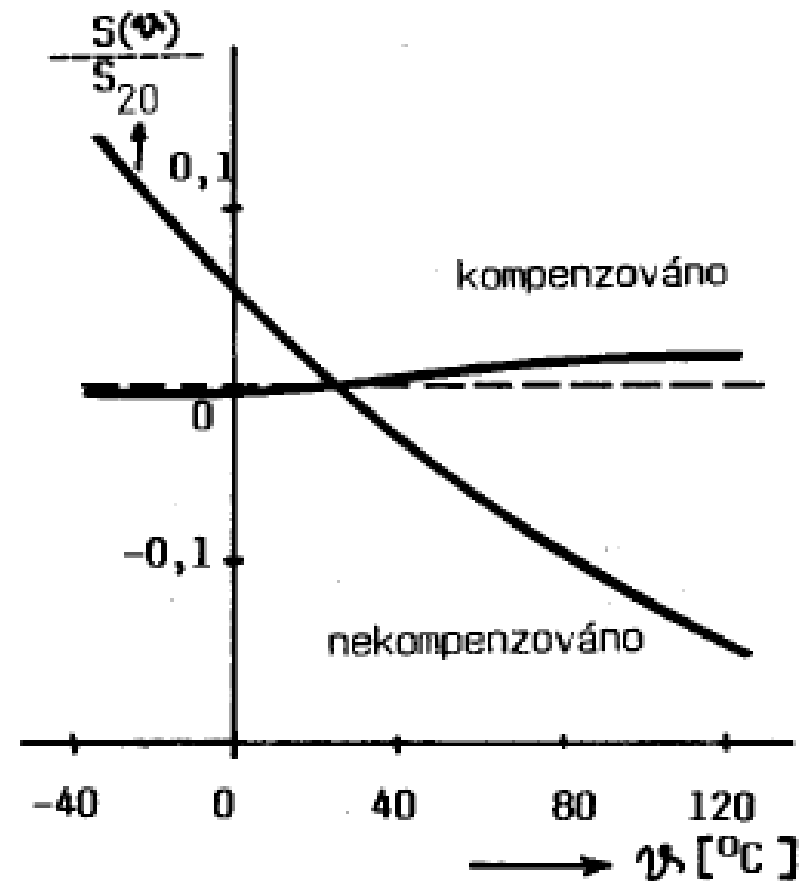


Obvod pro teplotní kompenzaci

# Zpracování signálu z piezodoporů + kompenzace



a)



b)

Teplotní závislosti a) offset, b) relativní citlivost

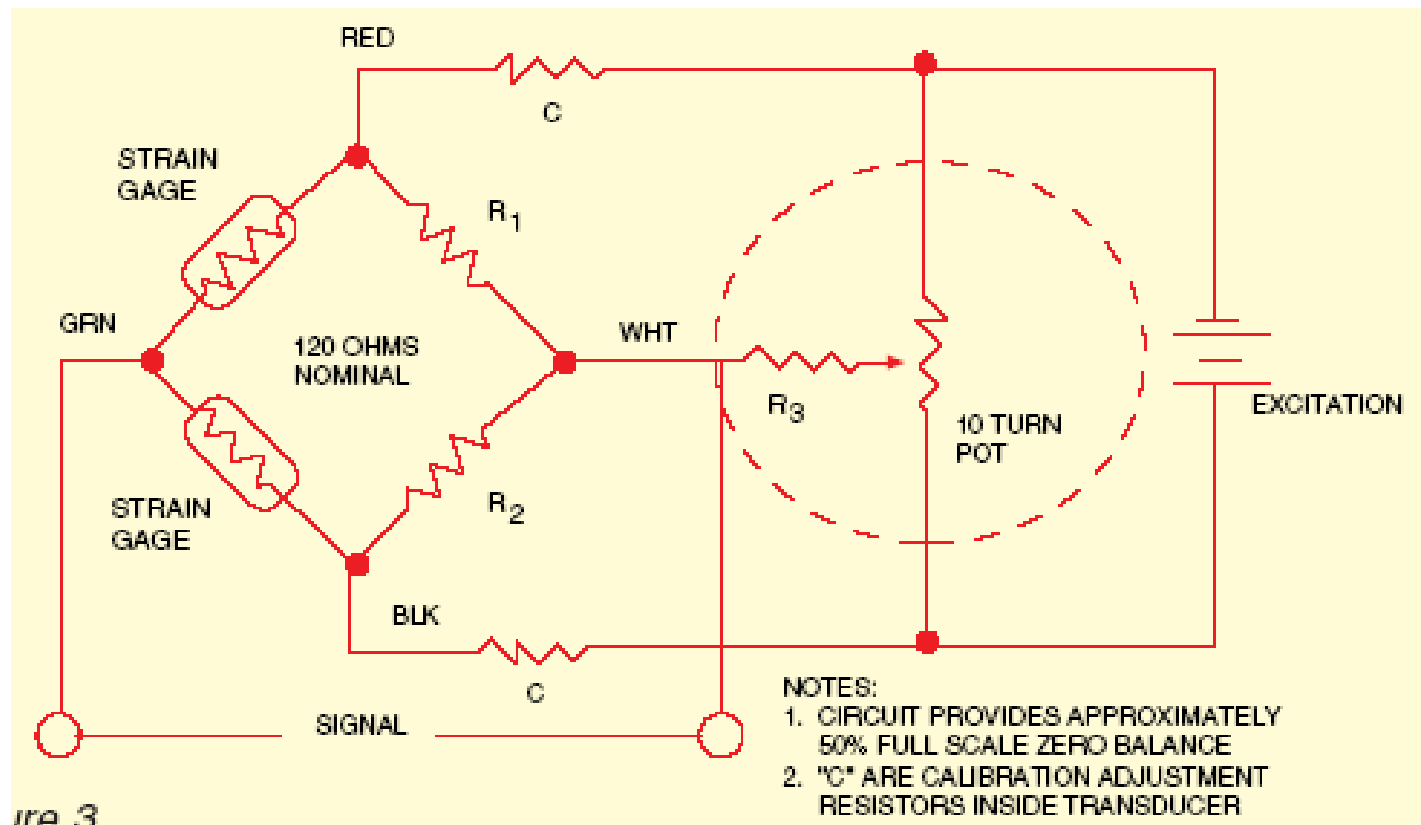




# Zpracování signálu z piezodoporů + kompenzace

## Externí obvod pro vyvážení můstku

- Externí součástková síť – nulování, recalibrace, nulování offsetu.
- Vytvoření plně kompenzovaného senzoru je dosti obtížné – vyžaduje zkušenost, podrobné znalosti systému.

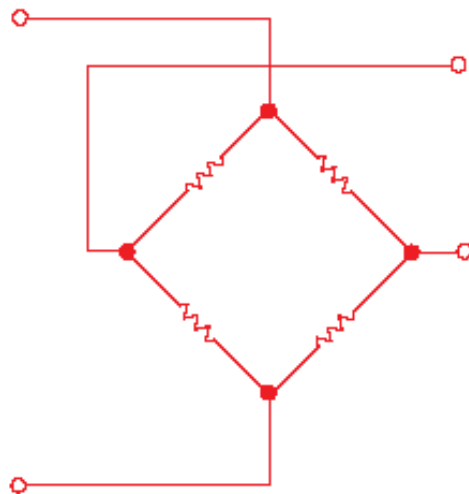


ira 3







# Zpracování signálu z piezododporů + kompenzace

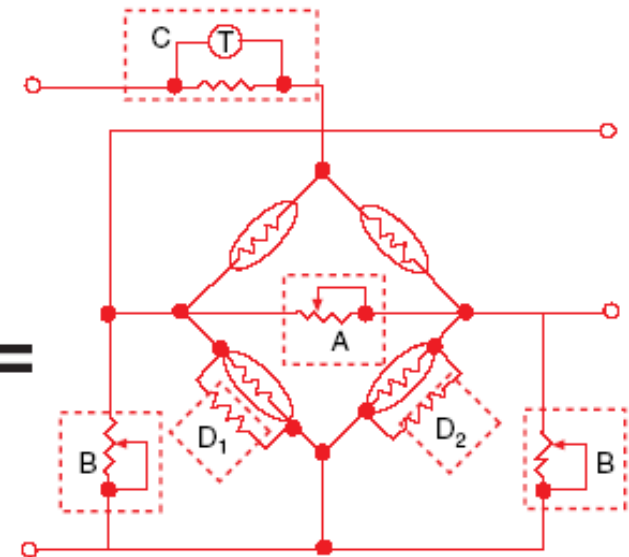
**SENSOR + COMPENSATION PROCEDURES = TRANSDUCER**



+

| Component   | Parameter                              |
|---|--|
|  | <b>A</b> Sensitivity                   |
|  | <b>B</b> Zero Balance                  |
|  | <b>C</b> Thermal effect on sensitivity |
|  | <b>D</b> Thermal effect on zero        |

=



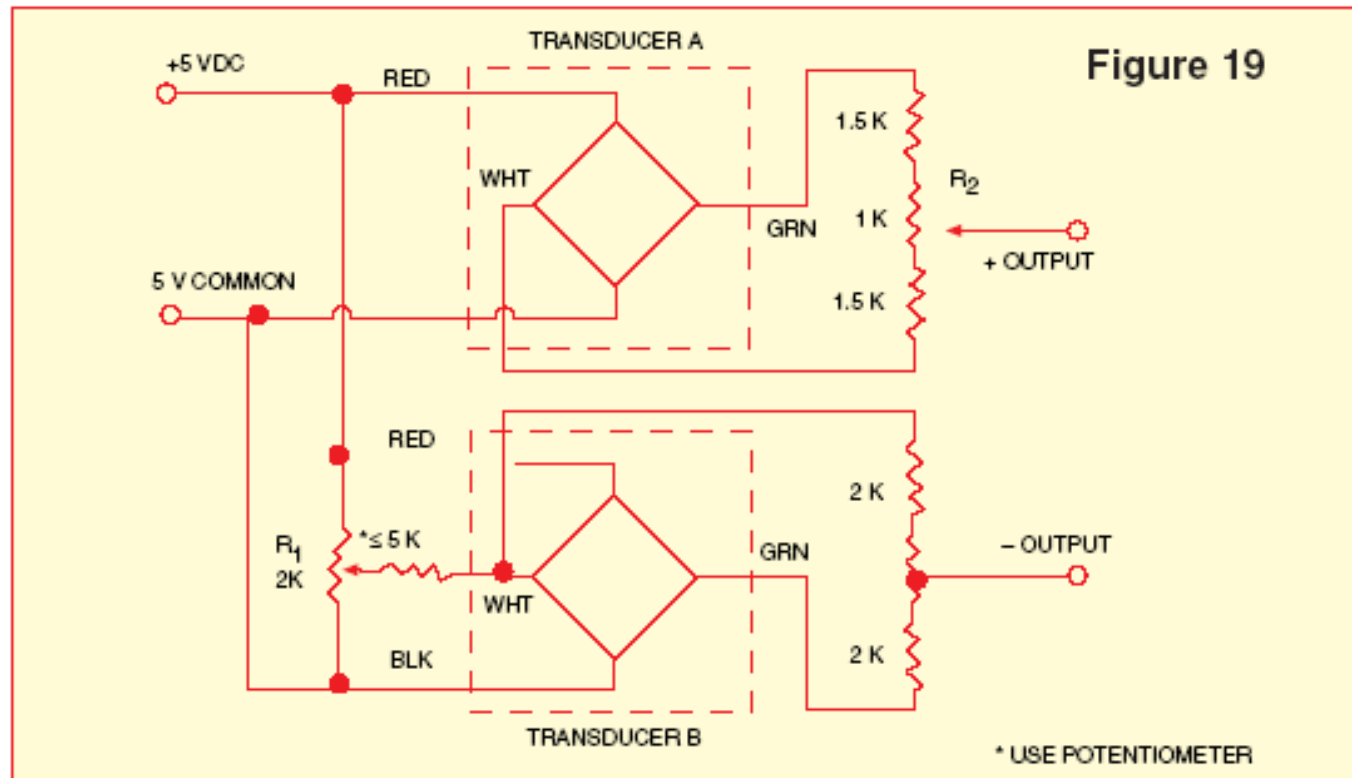
D<sub>1</sub> use if zero T.C.  $\frac{\Delta E O}{\Delta T}$  is positive

D<sub>2</sub> use if zero T.C.  $\frac{\Delta E O}{\Delta T}$  is negative

# Zpracování signálu z piezoodporů + kompenzace

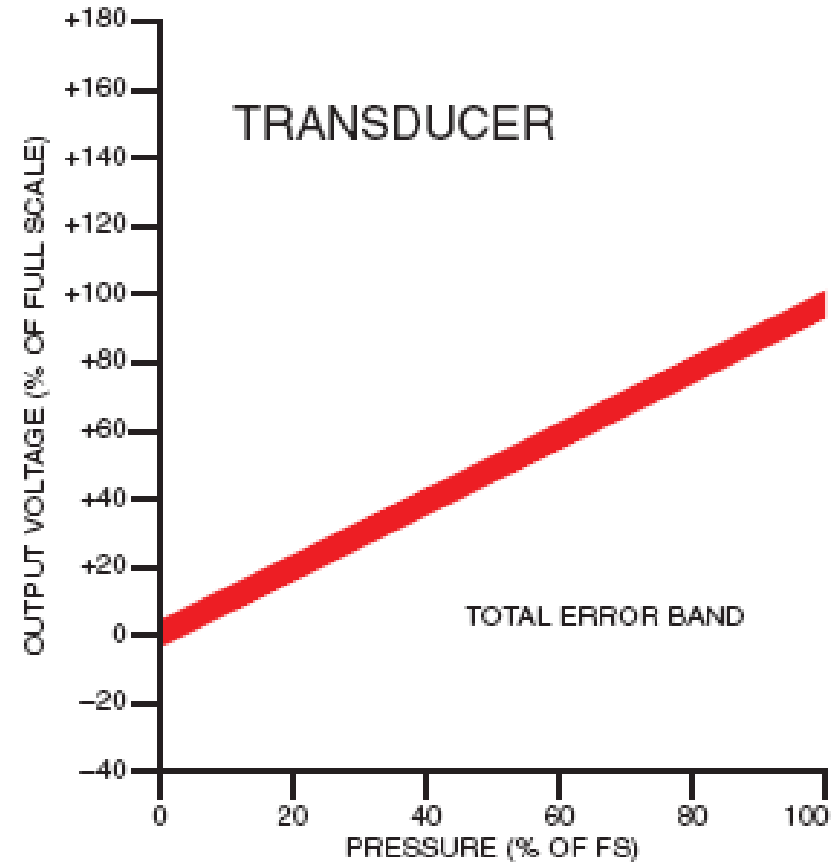
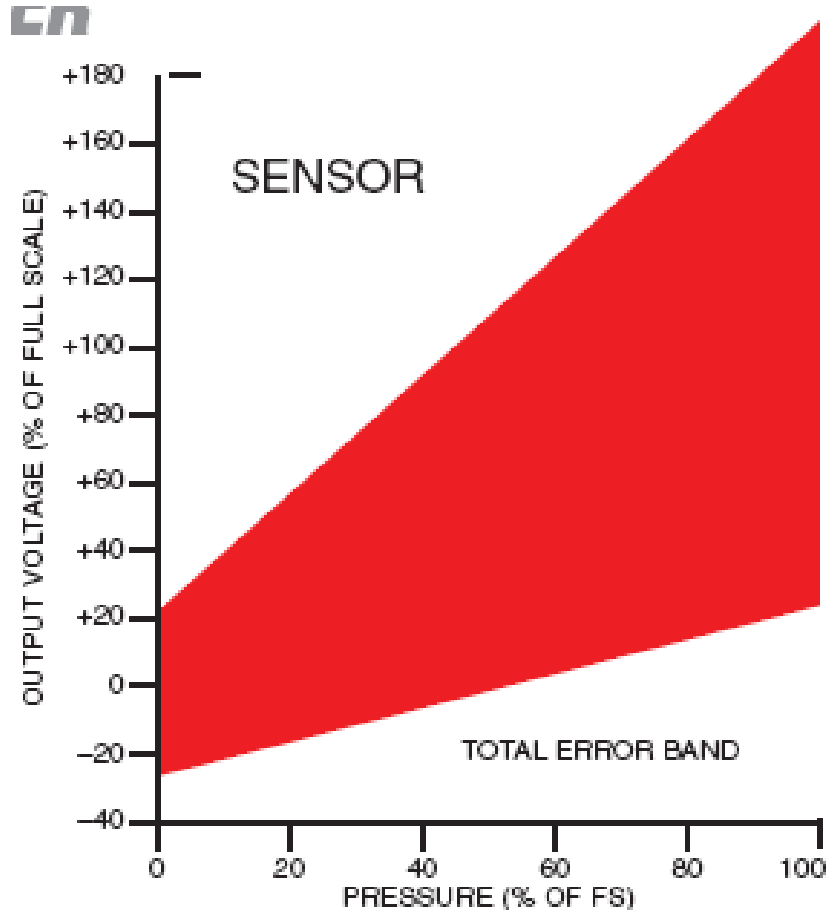
## Diferenciální tlakové měření – 2 tlakové senzory

- **R1** – nastavuje vyvážení bez přítomnosti tlaku
- **R2** – nulový výstupní signál při max. tlaku na obou senzorech současně
- **Výstup** - 50 mV na plnou diferenciální výchylku, obousměrná činnost



# Zpracování signálu z piezoodporů + kompenzace

## Chybové pásmo - nekompenzovaný a kompenzovaný senzor

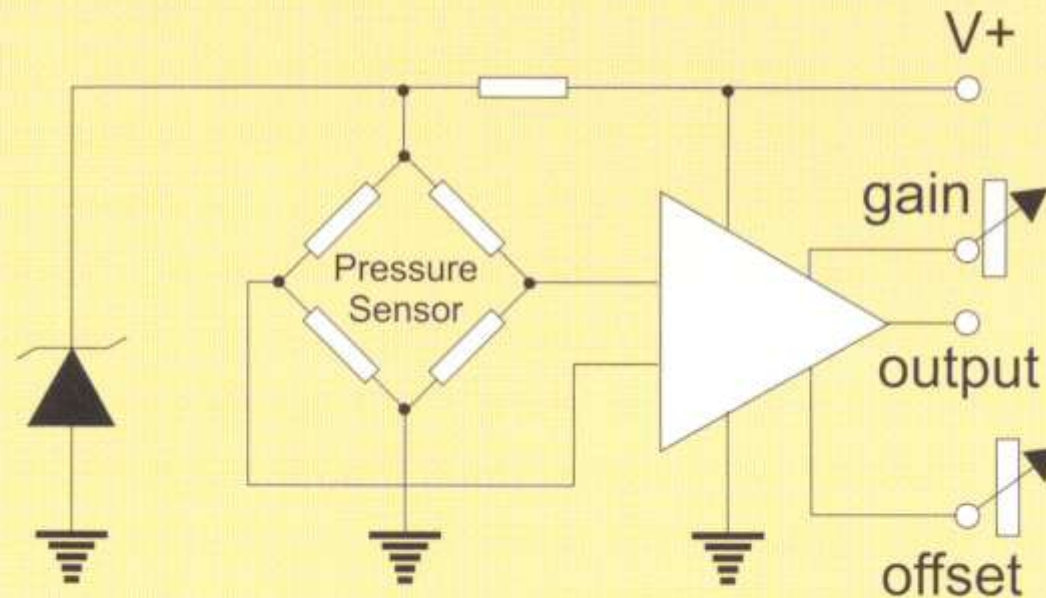


# Zpracování analogového signálu z piezoodporého můstku



SDRAL, SXRA  
Internal  
Signal Conditioning

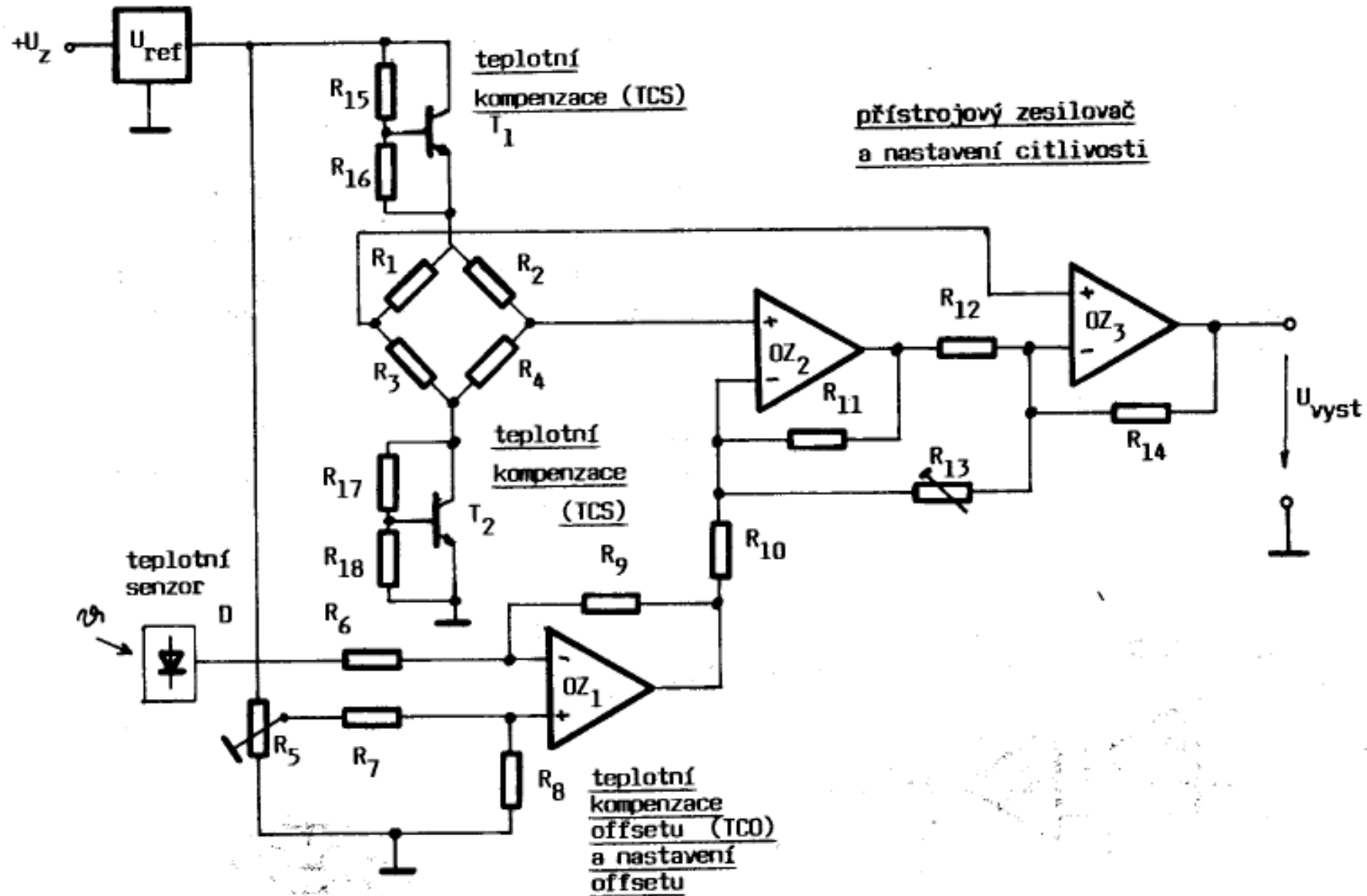
SENSPECIAL  
Sensit & Co. KG



**Pressure Sensor with Amplifier  
and Voltage Reference**

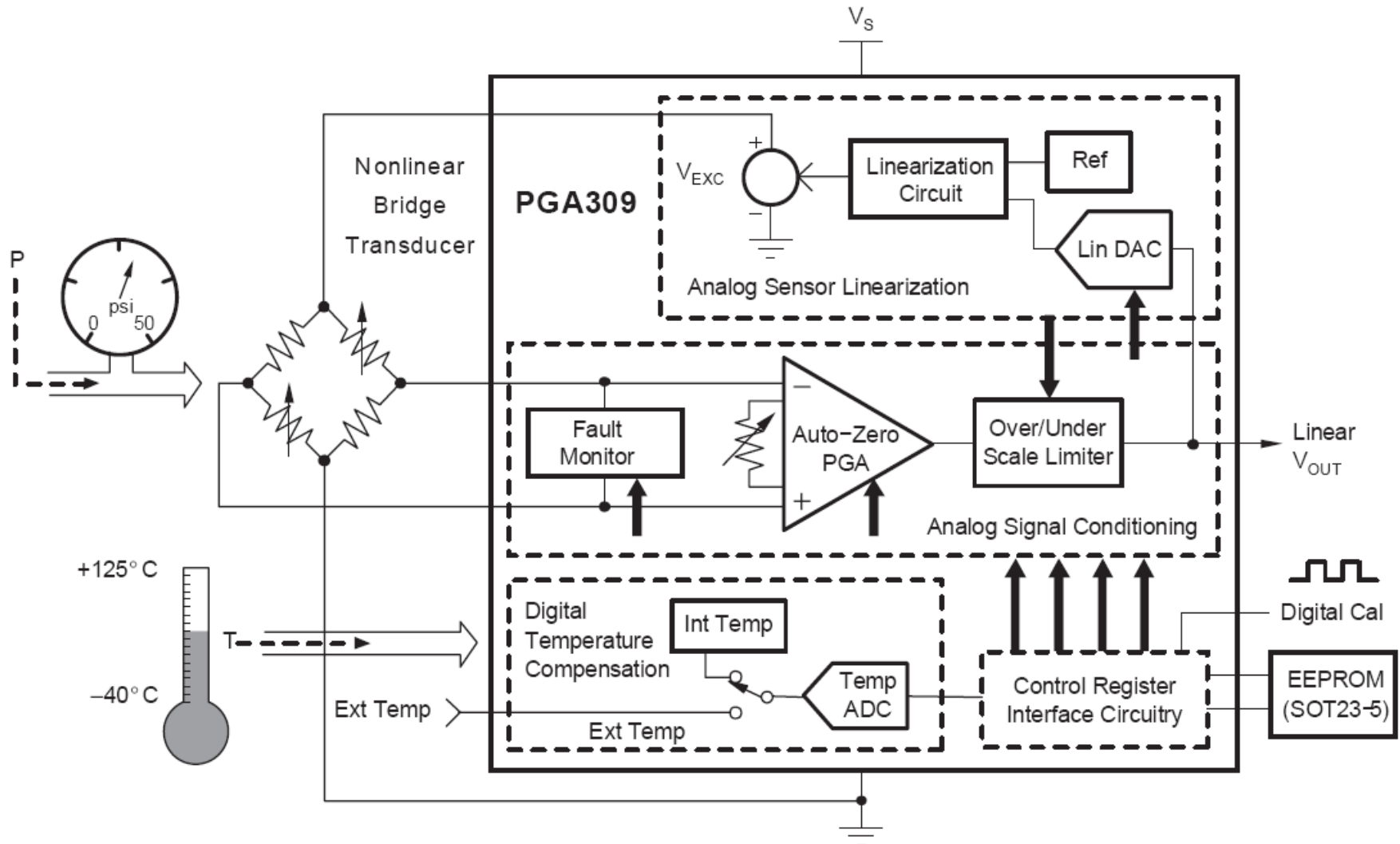


# Zpracování analogového signálu z piezoodporého můstku



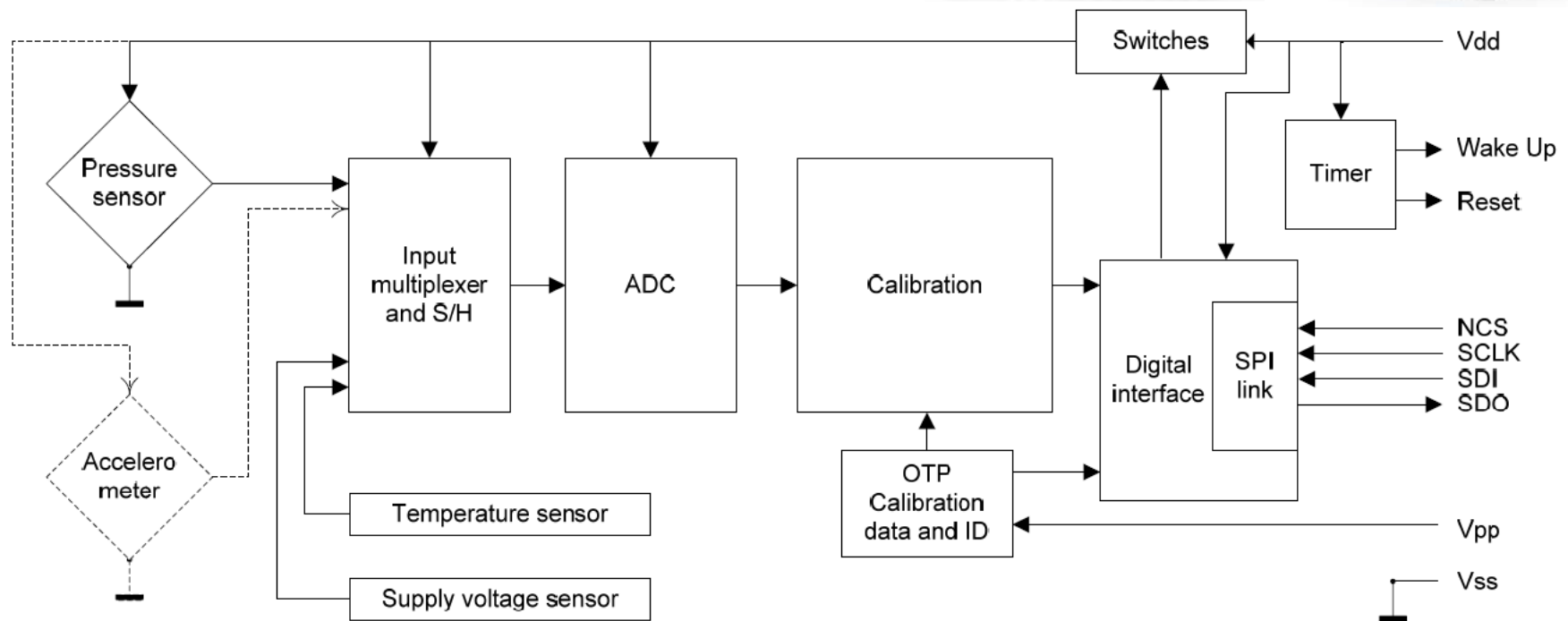
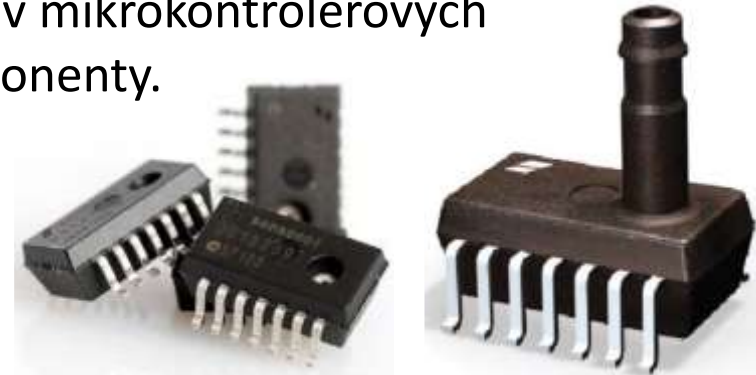
# Zpracování analogového signálu z piezodoporého můstku

## PGA309 - Integrovaný vyhodnocovací obvod pro můstky



# Zpracování analogového signálu z piezodoporého můstku

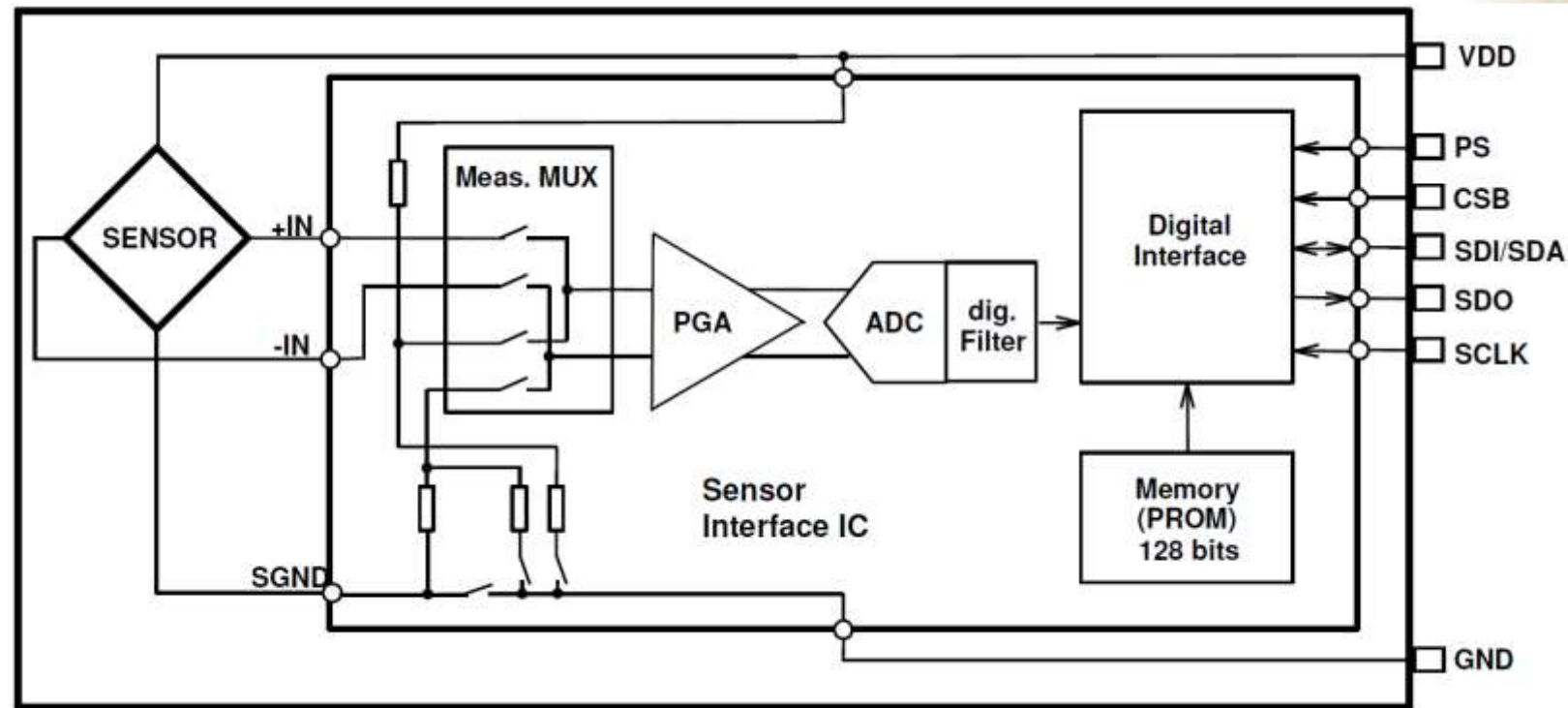
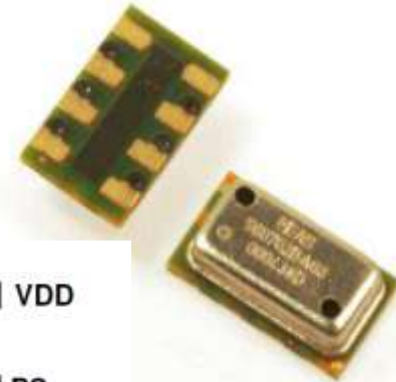
**SP100** je integrovaný MEMS tlakový senzor určený pro měření tlaku vzduchu. Senzor má digitální rozhraní navržené pro použití v mikrokontrolérových aplikacích. SP100 nevyžaduje žádné externí komponenty.





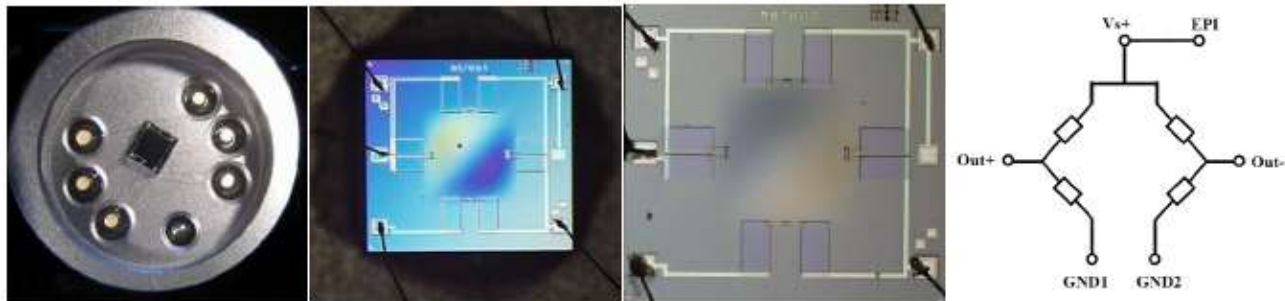
# Zpracování analogového signálu z piezoodporého můstku

**MS5611-01BA** je tlakový senzor pro měření barometrického tlaku s vysokým rozlišením s SPI a I<sup>2</sup>C sběrnici, je určený pro výškoměry a variometry s výškovým rozlišením 10 cm.

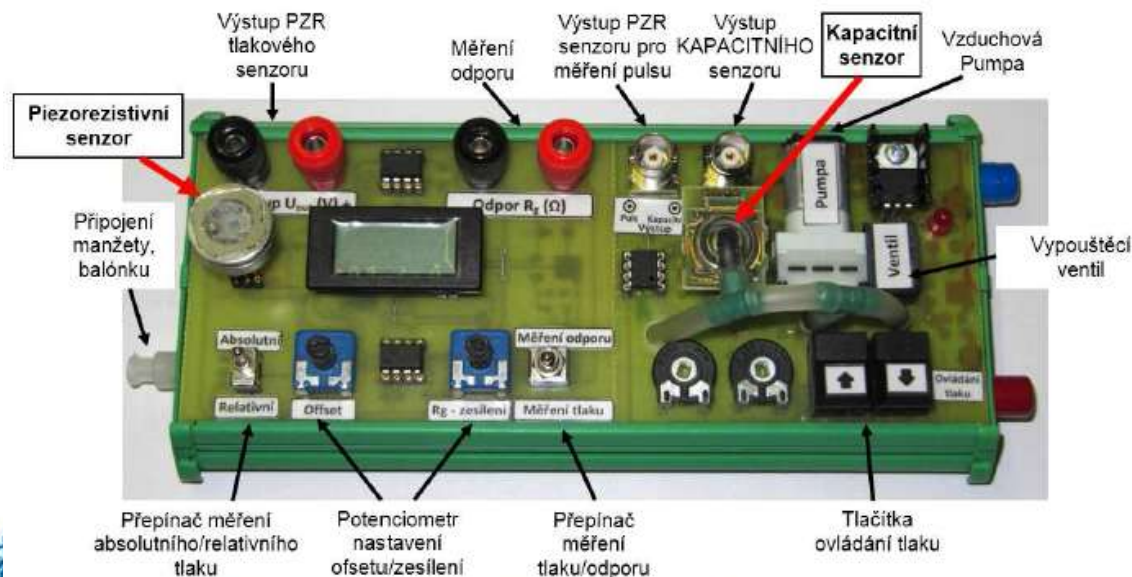


# Senzory tlaku

- Měření krevního tlaku pomocí piezodoporových a kapacitních senzorů



Obr. 1. Absolutní tlakový senzor MS7801 v nerezovém pouzdře a detail čipu, zapojení Wheatstoneov:



Obr. 4. Přípravek s piezorezistivním a kapacitním tlakovým senzorem



[1] <http://www.lekarna.cz/tonometr-digitalni-tensoval-duo-control-ii-large/>

# Pouzdra



BASIC ELEMENT  
CASE 344-15  
SUFFIX A/D



GAUGE PORT  
CASE 344B-01  
SUFFIX AP/GP

## 4-PIN



DUAL PORT  
CASE 344C-01  
SUFFIX DP



MEDICAL CHIP PAK  
CASE 423A-03



STOVEPIPE  
CASE 344D-01  
SUFFIX



BASIC ELEMENT  
CASE 867-08  
SUFFIX A/D



GAUGE PORT  
CASE 867B-04  
SUFFIX AP/GP

## 6-PIN



DUAL PORT  
CASE 867C-05  
SUFFIX DP



AXIAL PORT  
CASE 867F-03  
SUFFIX ASX/GSX



STOVEPIPE PORT  
CASE 867E-03  
SUFFIX AS/GS

## 8-PIN



SMALL OUTLINE  
(SURFACE MOUNT) \*  
CASE 482-01



SMALL OUTLINE  
(PORTED/SURFACE MOUNT) \*  
CASE 482A-01



SMALL OUTLINE  
(DIP) \*  
CASE 482B-03



SMALL OUTLINE  
(PORTED/DIP) \*  
CASE 482C-03



MPAK, STYLE 1 \*  
CASE 1320-02



MPAK, STYLE 1 \*  
CASE 1320A-02



SUPER SMALL OUTLINE  
PACKAGE (TPMP)  
CASE 1352-01



SUPER SMALL OUTLINE  
PACKAGE  
CASE 1317-03



SUPER SMALL OUTLINE  
PACKAGE  
CASE 1317A-03

sterred packaging options



# Aplikace

## piezoodporových tlakových senzorů

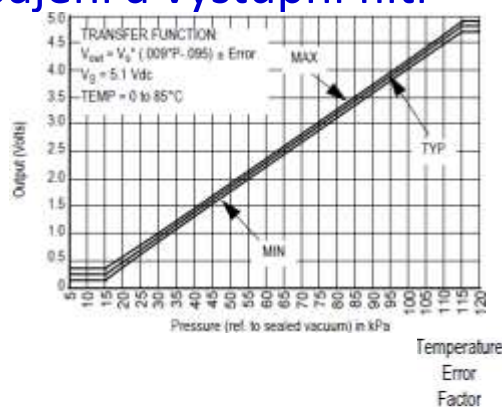
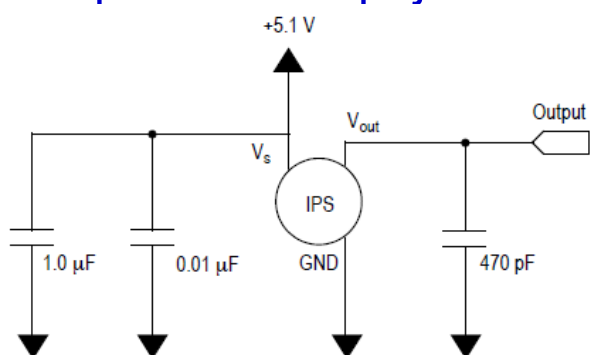


# Aplikace piezodoporových tlakových senzorů

## Příklad 2 - integrovaný tlakový senzor MPX 4115A

Řada MPX4115A je navržena pro snímání absolutního tlaku vzduchu v aplikacích výškoměru nebo barometru. Senzor integruje obvody na čipu, bipolární operační zesilovač a sítě rezistorů pro analogový výstupní signál a teplotní kompenzaci.

### Doporučené zapojení – napájení a výstupní filtr

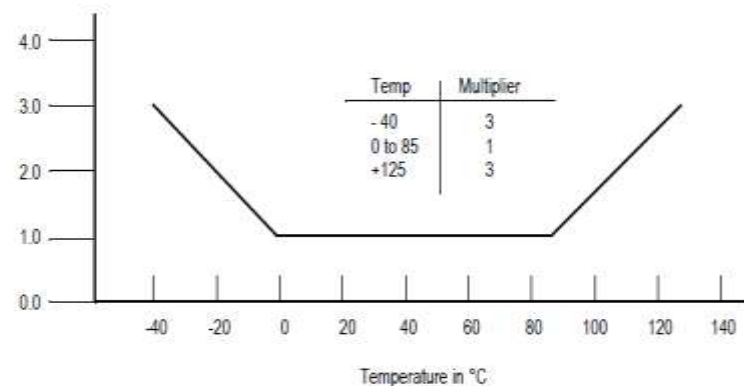


### Aplikace:

- Výškoměr
- Barometr
- Letecké výškoměry
- Průmyslové ovládací prvky
- Řízení motoru
- Meteorologické stanice a zařízení pro hlášení počasí

### Parametry

- Rozsah tlaků: 15 až 115 kPa (2,2 až 16,7 psi)
- Výstup: 0,2 až 4,8 V
- Maximální chyba v rozsahu 0° až 85°C: 1,5 %
- Ideální pro mikroprocesorové rozhraní nebo systémy založené na mikrokontrolérech
- Teplotní kompenzace: rozmezí teplot -40°C až +125°C





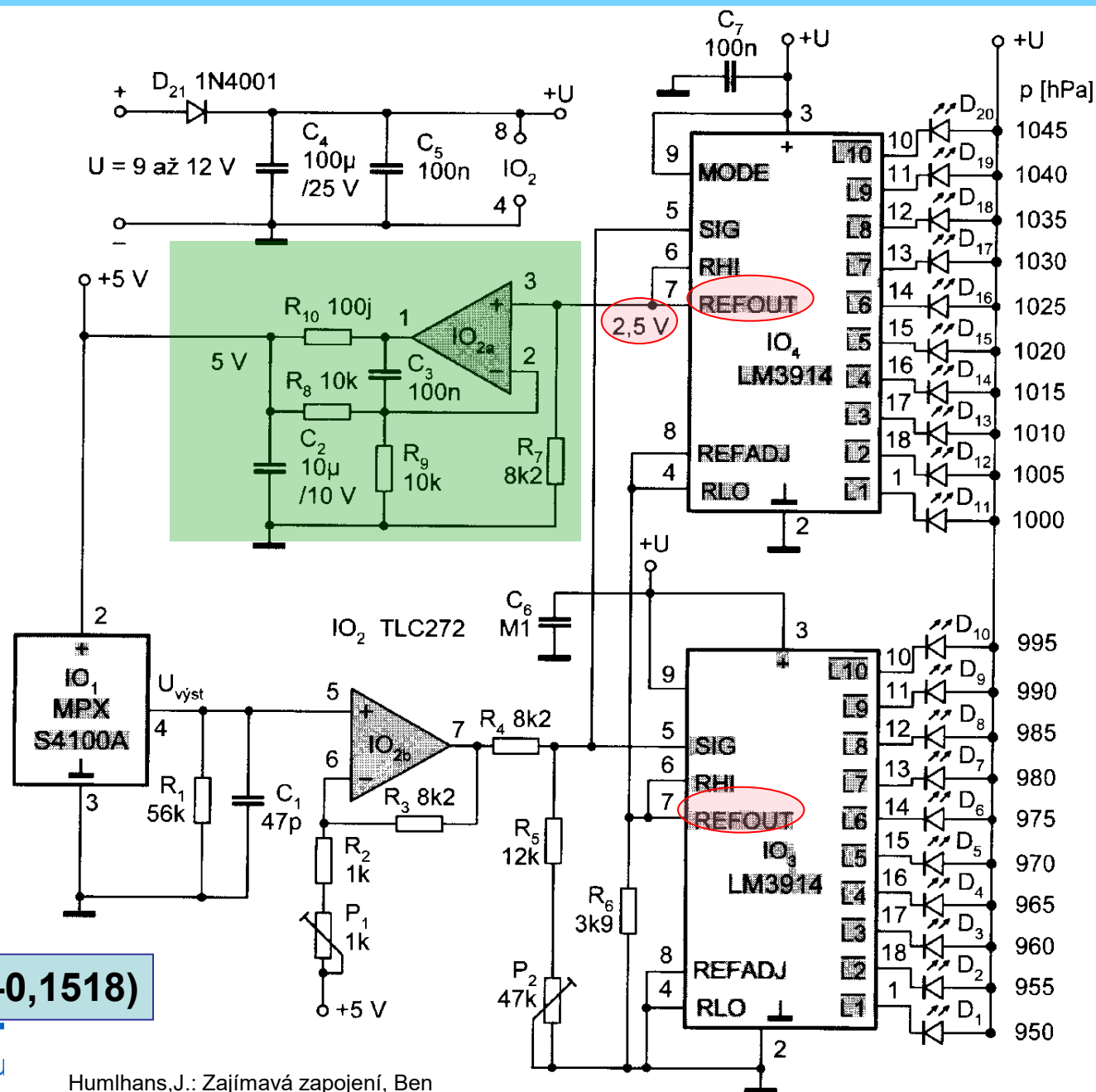
# Aplikace piezodporových tlakových senzorů

## Příklad:

Elektronický  
barometr s  
MPXS4100A  
(Motorola)

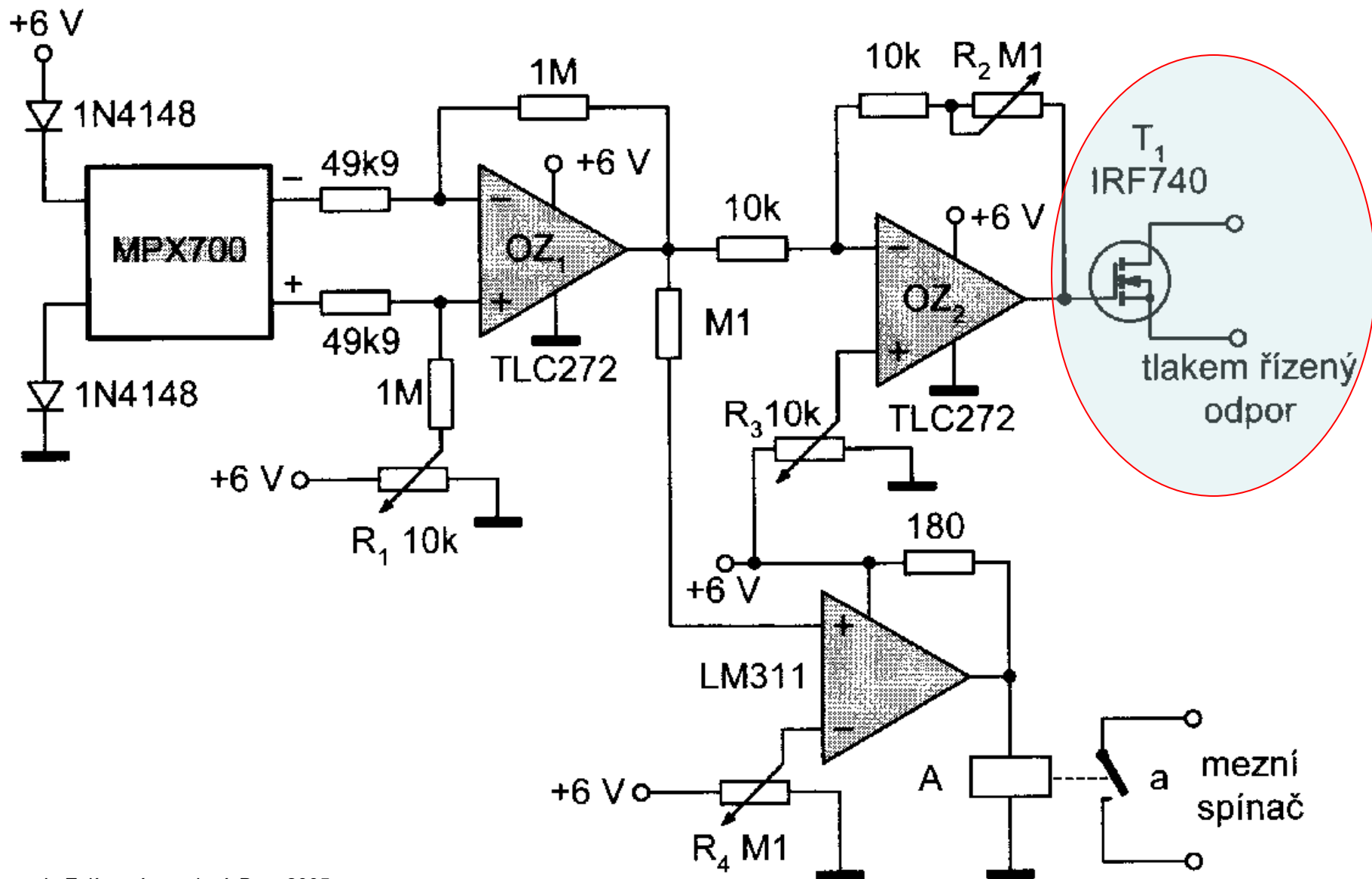
945 hPa = nulový  
signál (diody nesvítí)  
nastavení pomocí  
P2, R3, R4

$$U_{\text{vyst}} = 5 \cdot (0,001059 \cdot P - 0,1518)$$

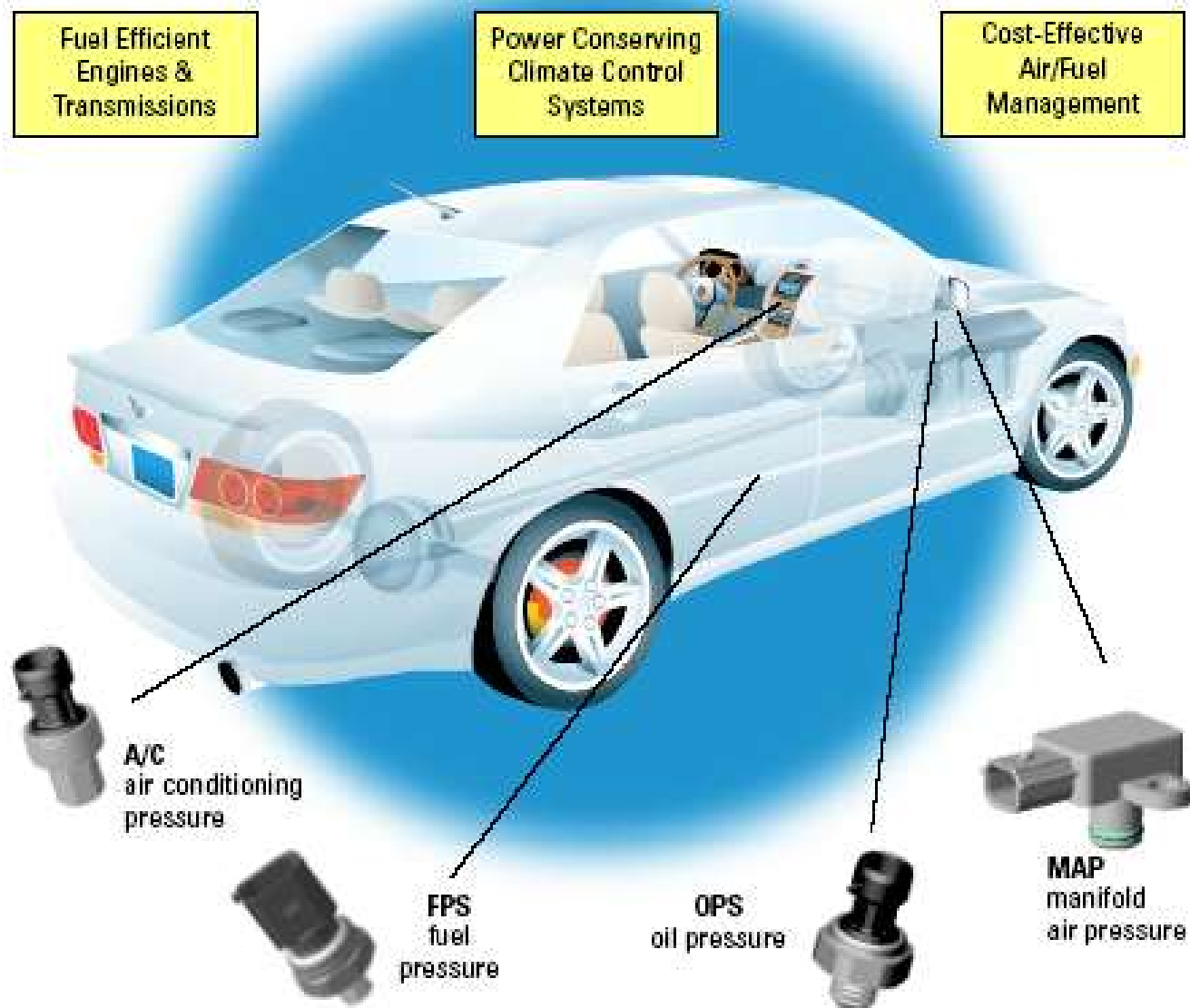


# Aplikace piezoodporových tlakových senzorů

## Příklad 4 – Tlakem řízený „odpor“ s MPX700 (Motorola)



# Aplikace tlakových senzorů





## Firemní stránky:

[www.honeywell.com](http://www.honeywell.com)

[www.infineon.com](http://www.infineon.com)

[e-www.motorola.com](http://e-www.motorola.com)

[www.sensortech.com](http://www.sensortech.com)

[www.si-micro.com](http://www.si-micro.com)

### Products

|                  |  |
|------------------|--|
| Amplifiers       | <a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>             |
| Data Converters  | <a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>     |
| DSP              | <a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>                         |
| Interface        | <a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>             |
| Logic            | <a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>                     |
| Power Mgmt       | <a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>                     |
| Microcontrollers | <a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a> |

### Applications

|                    |  |
|--------------------|--|
| Audio              | <a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>                   |
| Automotive         | <a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>         |
| Broadband          | <a href="http://www.ti.com/broadband">www.ti.com/broadband</a>           |
| Digital Control    | <a href="http://www.ti.com/digitalcontrol">www.ti.com/digitalcontrol</a> |
| Military           | <a href="http://www.ti.com/military">www.ti.com/military</a>             |
| Optical Networking | <a href="http://www.ti.com/opticalnetwork">www.ti.com/opticalnetwork</a> |
| Security           | <a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>             |
| Telephony          | <a href="http://www.ti.com/telephony">www.ti.com/telephony</a>           |
| Video & Imaging    | <a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>                   |
| Wireless           | <a href="http://www.ti.com/wireless">www.ti.com/wireless</a>             |



# Zkouškové otázky

1. Nakreslete princip činnosti tlakového senzoru pro měření absolutního tlaku a senzoru pro měření diferenciálního tlaku.
2. Napište alespoň 3 základní typy polovodičových tlakových senzorů
3. Nakreslete základní uspořádání piezoelektrického tlakového senzoru se 4 piezoodporovými tenzometry na membráně.
4. Nakreslete obvodové zapojení s můstkem pro vyhodnocování signálu ze 4 piezoodporů tlakového senzoru
5. Nakreslete zjednodušené elektronické obvodové zapojení s můstkem pro vyhodnocování signálu z piezoodporů tlakového senzoru. Do zapojení nakreslete princip jednoduché teplotní kompenzace s termistorem.

