

Senzory a jejich připojení k MCU

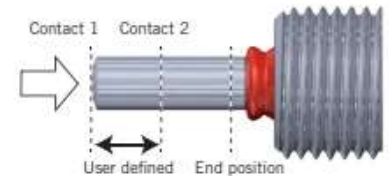
Richard Růžička

Mikroprocesorové a vestavěné systémy (IMP)

Senzory s diskrétními stavy

Snímače s diskretními stavy

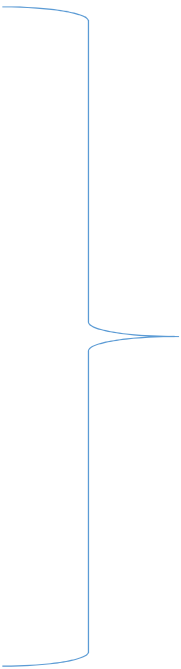
- V případě snímání diskretních veličin nemusí být převod na spojitě napětí a vzorkování pomocí ADC, pak často stačí GPIO (jeden pin pro dvoustavovou veličinu, více pro vícestavovou).
- Příklad: snímání koncových stavů mechanického zařízení



Degree of protection	IP67
Termination	Cable / Connector
Operating force	Max 1N to open NC contact Max 1.6N to close NO contact
Temperature	-40°C to 130°C with SI cable (upon request) -20°C to 105°C with PVC cable
Hysteresis	0 mm
Repeatability	< 5µm
Pre-Travel	0 mm for NC contact 0.3 – 1.5mm for NO contact
Over-Travel	2mm after NC opening for pin version 1.7mm after NC opening for ball version
Max DC Voltage	30 VDC
Max DC Current	200mA
Mechanical life	10 x 10 ⁶ cycles
Optional	M8 or M12 connector

Snímání pozice

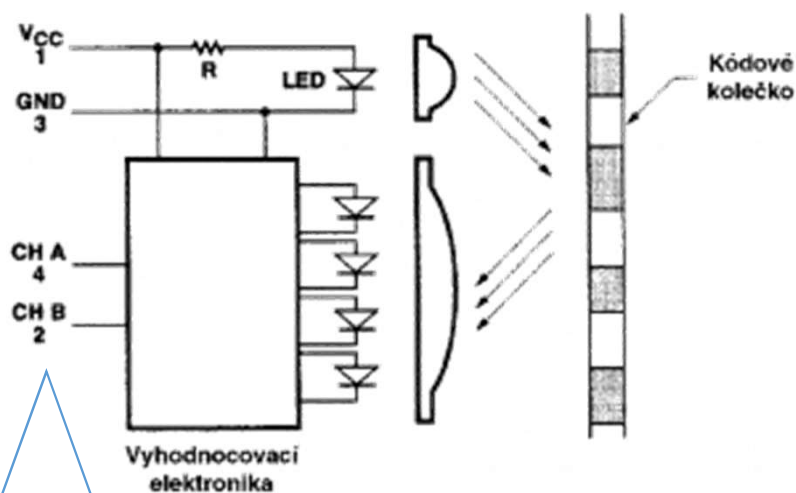
- Absolutní
- Inkrementální (změna pozice)
- Lineární (vzdálenost)
- Rotační (úhel)



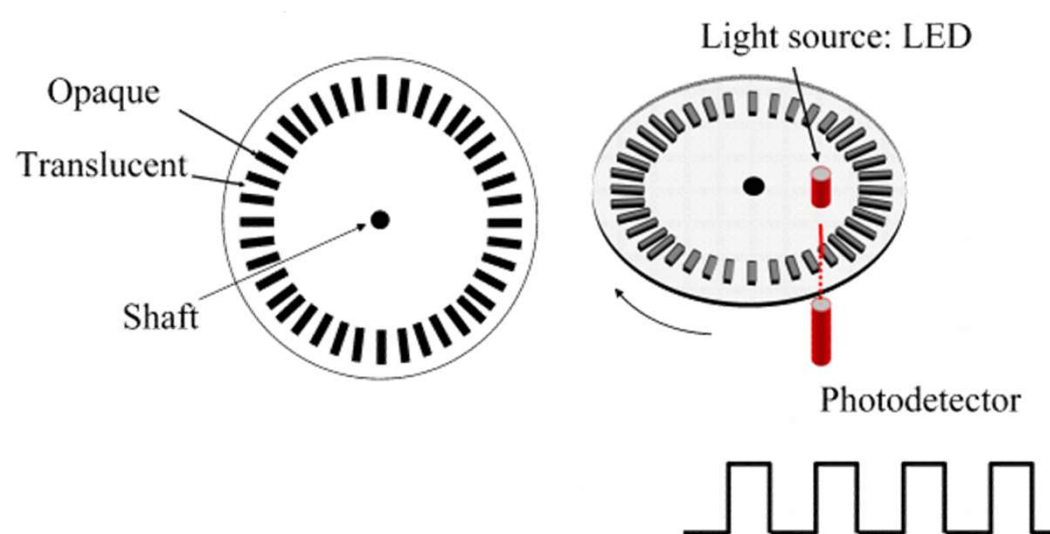
Obvykle vše lze realizovat
snímači s diskrétními stavy.
(ale existují i spojité snímače pozice)

Snímače úhlové pozice – rotační enkodéry

- Nejčastěji na optickém principu

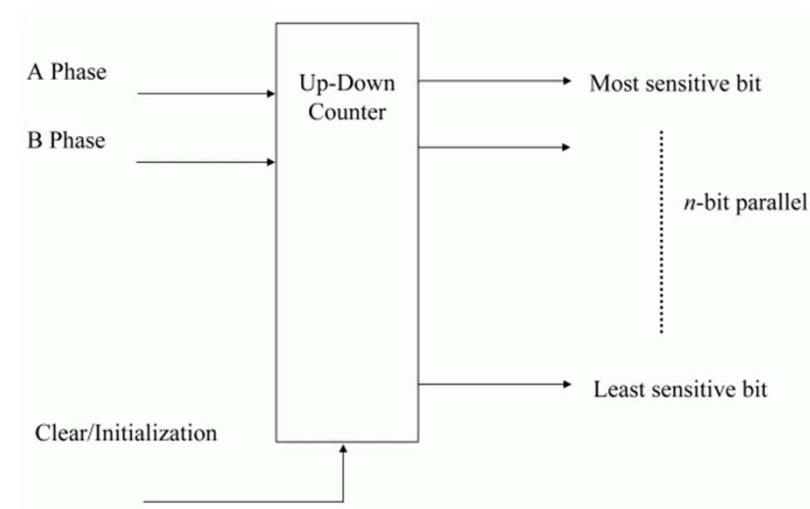
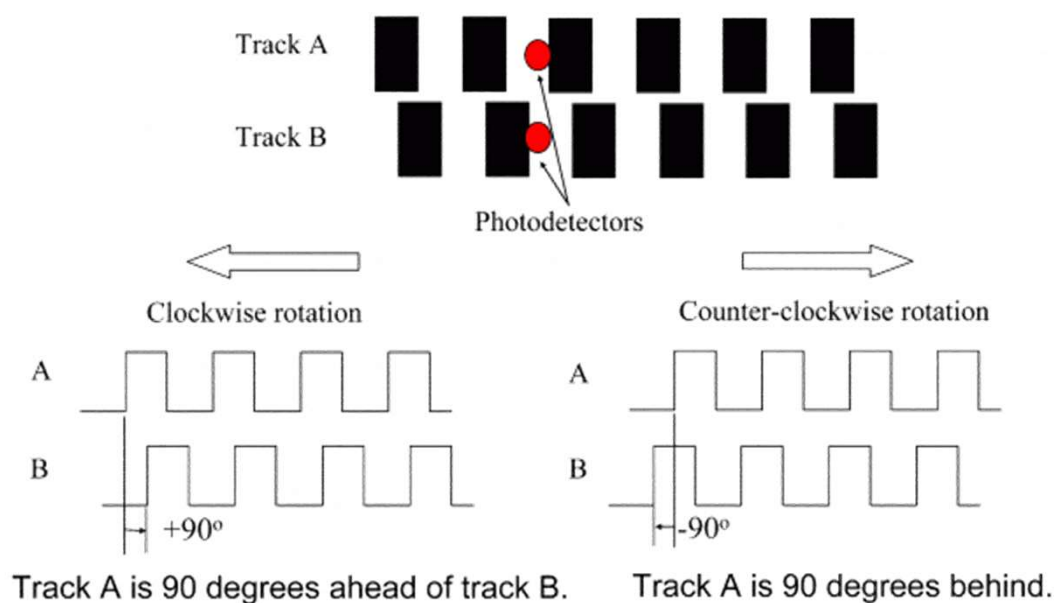


Dva kanály pulsních výstupů pro rozlišení směru pohybu

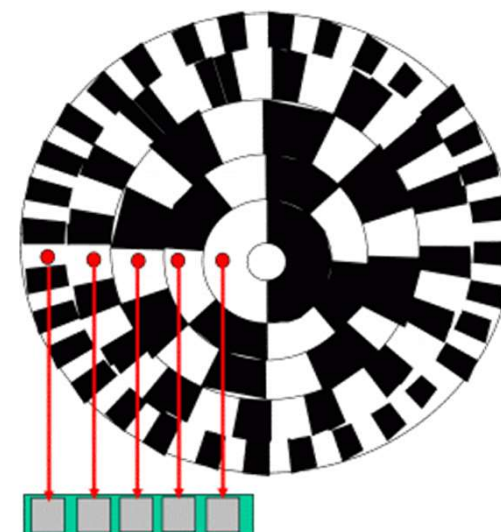
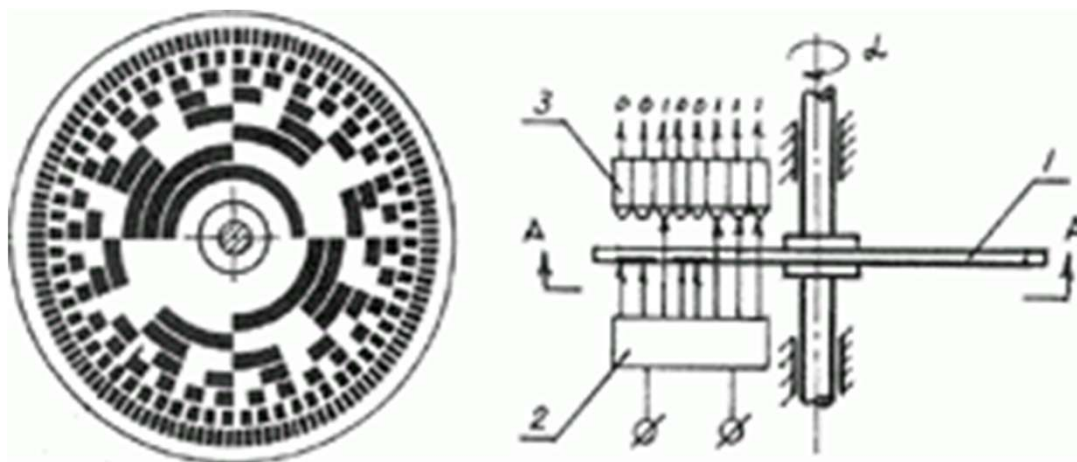


Inkrementální snímač

Dvě fázově posunuté stopy pro rozlišení směru pohybu:



Snímač absolutní polohy (úhlu)



Pro každý krok je unikátní kombinace nul a jedniček, které tvoří slovo označující pozici.

Spíše než prostý binární kód se používá tzv. Grayův kód, kde sousední pozice se liší vždy v jednom bitu (aby se vyloučily hazardy při přechodu z jedné pozice na druhou).

Binární kód



Grayův kód



Snímání úhlu magnetickým enkodérem

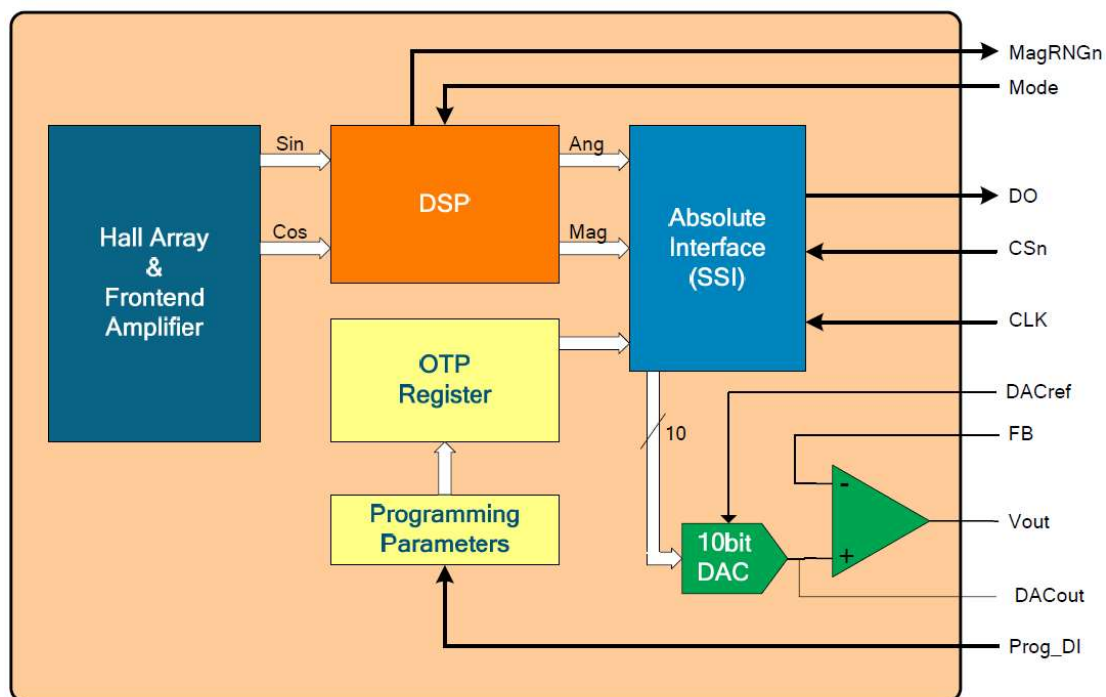
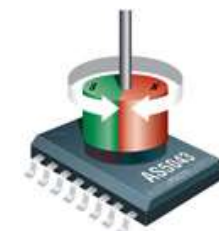
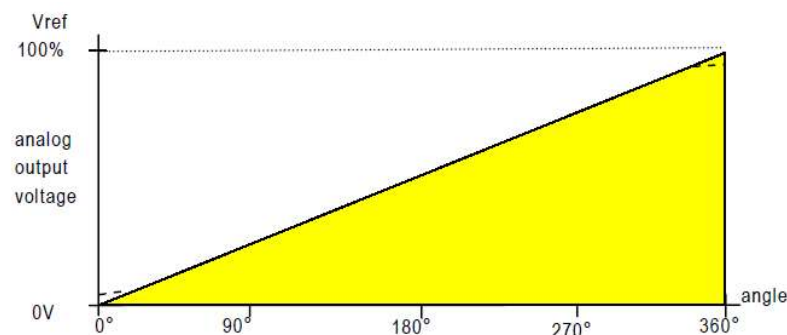


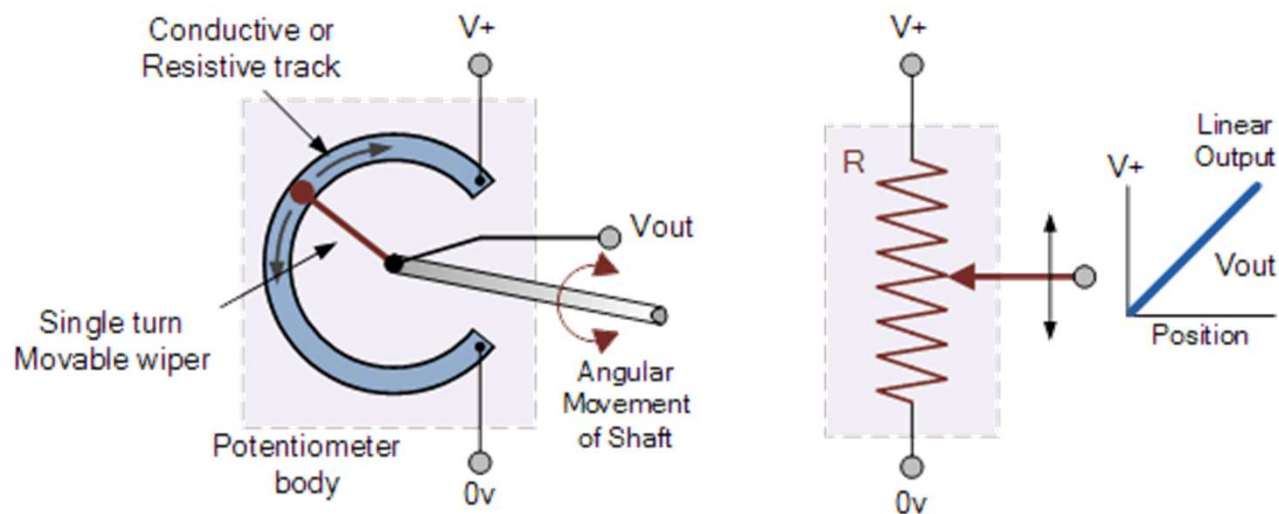
Figure 3: AS5043 block diagram



Mode	Note
360° angular range (default)	default mode, analog resolution= 10bit (1024 steps) over 360° analog step size: 1LSB = 0.35°
180° angular range	analog resolution= 10bit (1024 steps) over 180° Analog step size: 1LSB = 0.175°

AS5043 - Analogový i číslicový výstup, různé rozlišení, režimy.

Jednoduchá a stará metoda snímání úhlu: potenciometr

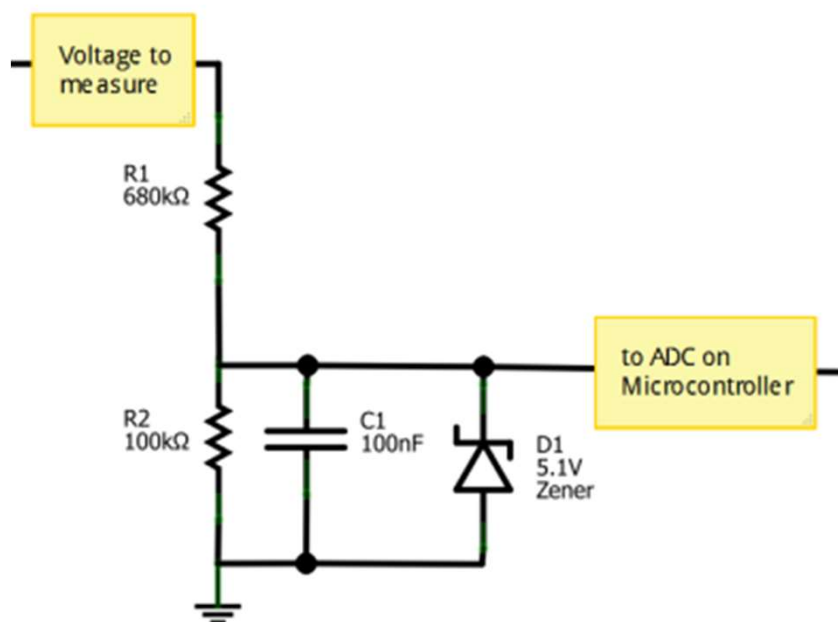


Nevýhody:

- potenciometr má doraz,
- dráha se opotřebovává,
- je třeba větší síla (tření jezdce o dráhu)

Snímání spojitých elektrických veličin

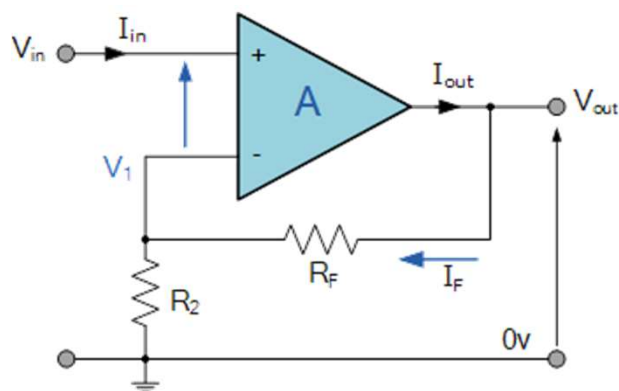
Snímání elektrických veličin - napětí



Zpravidla postačí odporový dělič, protože vstup MCU má vysokou impedanci – dělič je nezatížený a nemění tak dělicí poměr. Vhodná je alespoň základní filtrace (C1) a ochrana pinu (D1).

Snímání elektrických veličin - napětí

Pro malá napětí (rozsah je menší než odpovídá referenčnímu napětí A/D převodníku) je vhodné použít zesilovač:



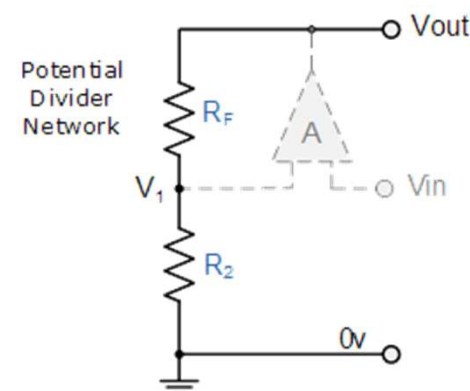
$$V_1 = \frac{R_2}{R_2 + R_F} \times V_{OUT}$$

Ideal Summing Point: $V_1 = V_{IN}$

Voltage Gain, $A_{(V)}$ is equal to: $\frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$

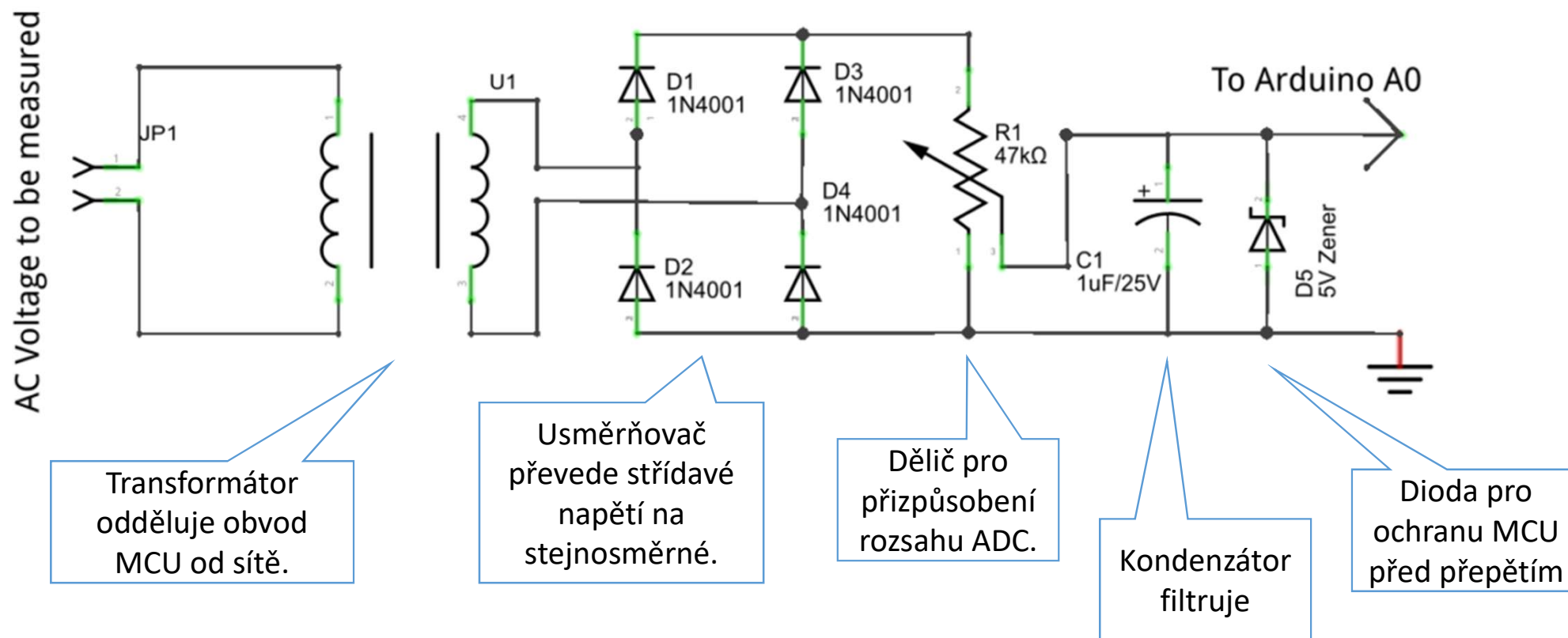
$$\text{Then, } A_{(V)} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_2 + R_F}{R_2}$$

$$\text{Transpose to give: } A_{(V)} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = 1 + \frac{R_F}{R_2}$$



Snímání elektrických veličin - napětí

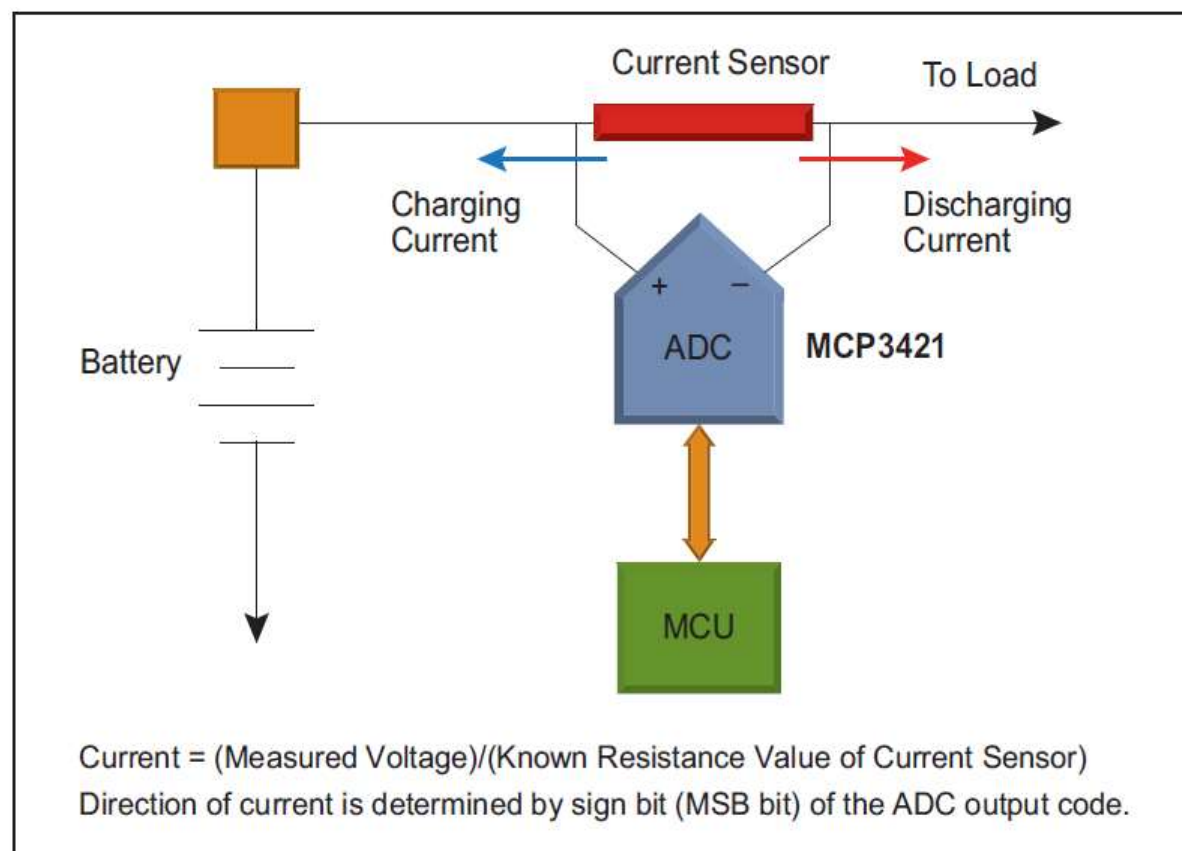
Pro velká napětí je vhodné galvanické oddělení:



Snímání elektrických veličin - proud

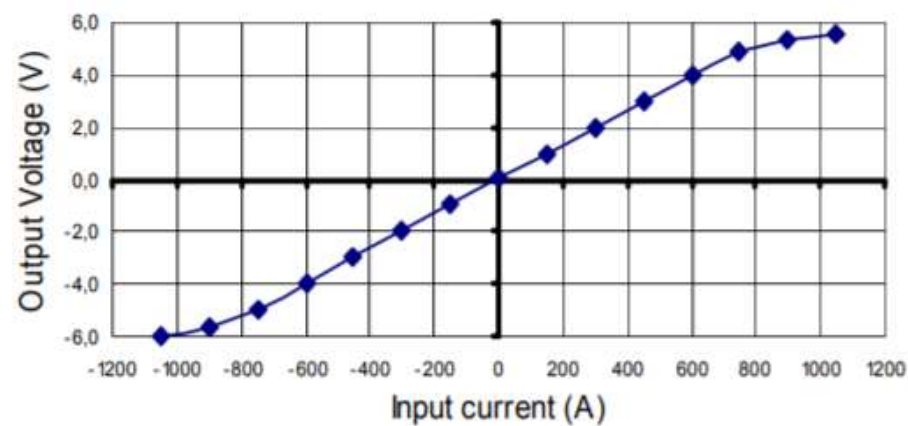
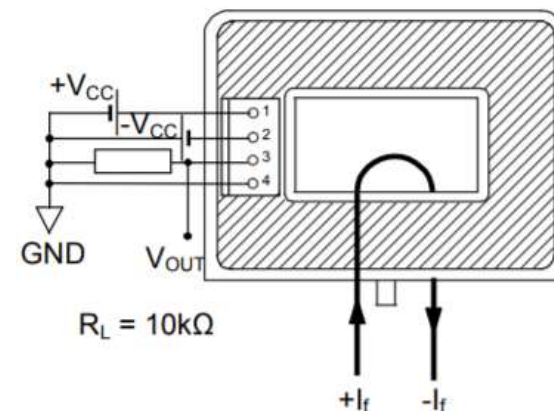
Proud lze převést na napětí pomocí rezistoru (Ohmův zákon).

Směr napětí je poplatný směru proudu. Pokud předpokládáme průchod proudu oběma směry (jako v příkladu zde), je třeba počítat s možností snímat napětí kladné i záporné!



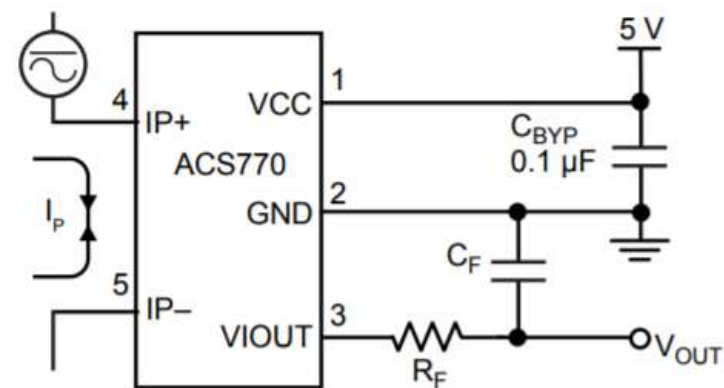
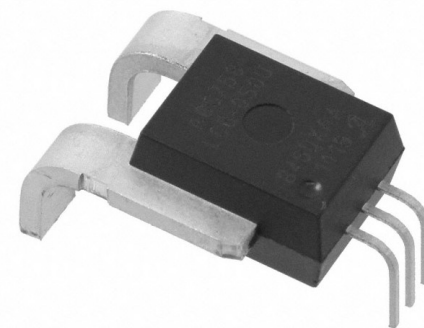
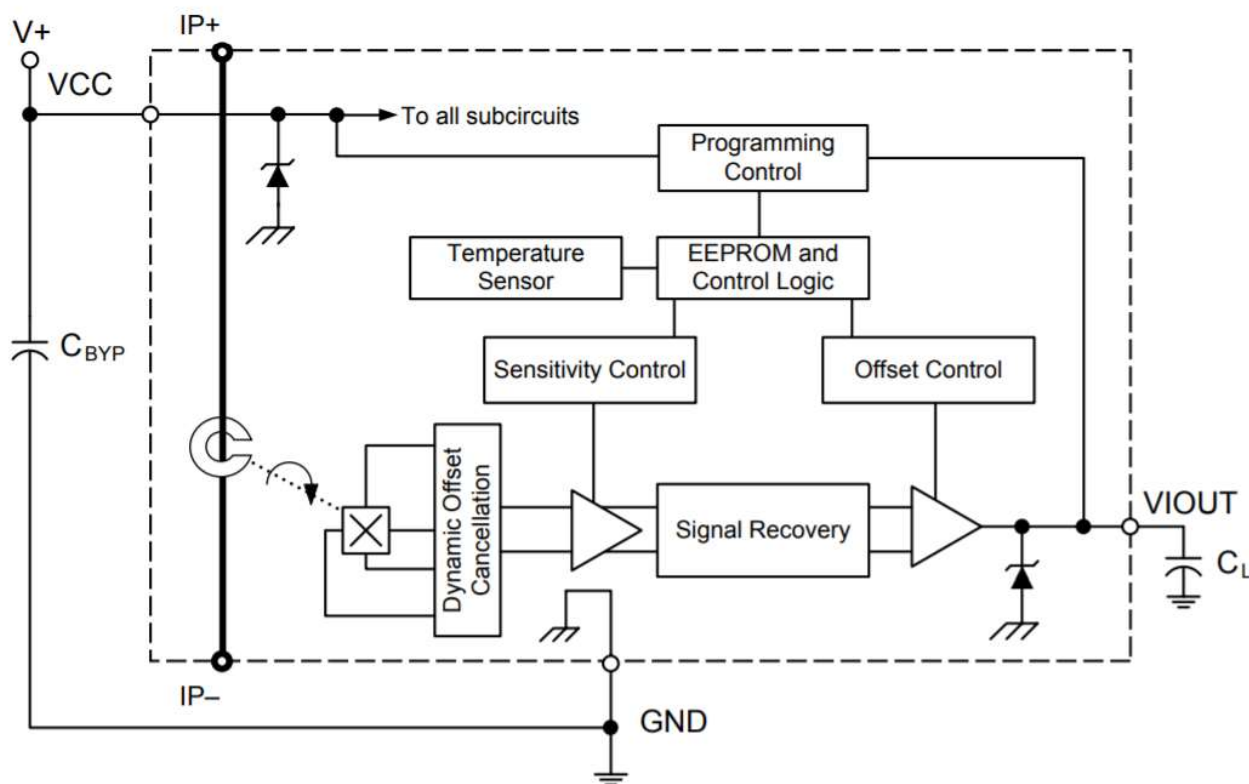
Snímání elektrických veličin - proud

„Neinvazivní“ měření pomocí Hallova snímače



Snímání elektrických veličin - proud

„Neinvazivní“ měření pomocí Hallova snímače ACS 770:

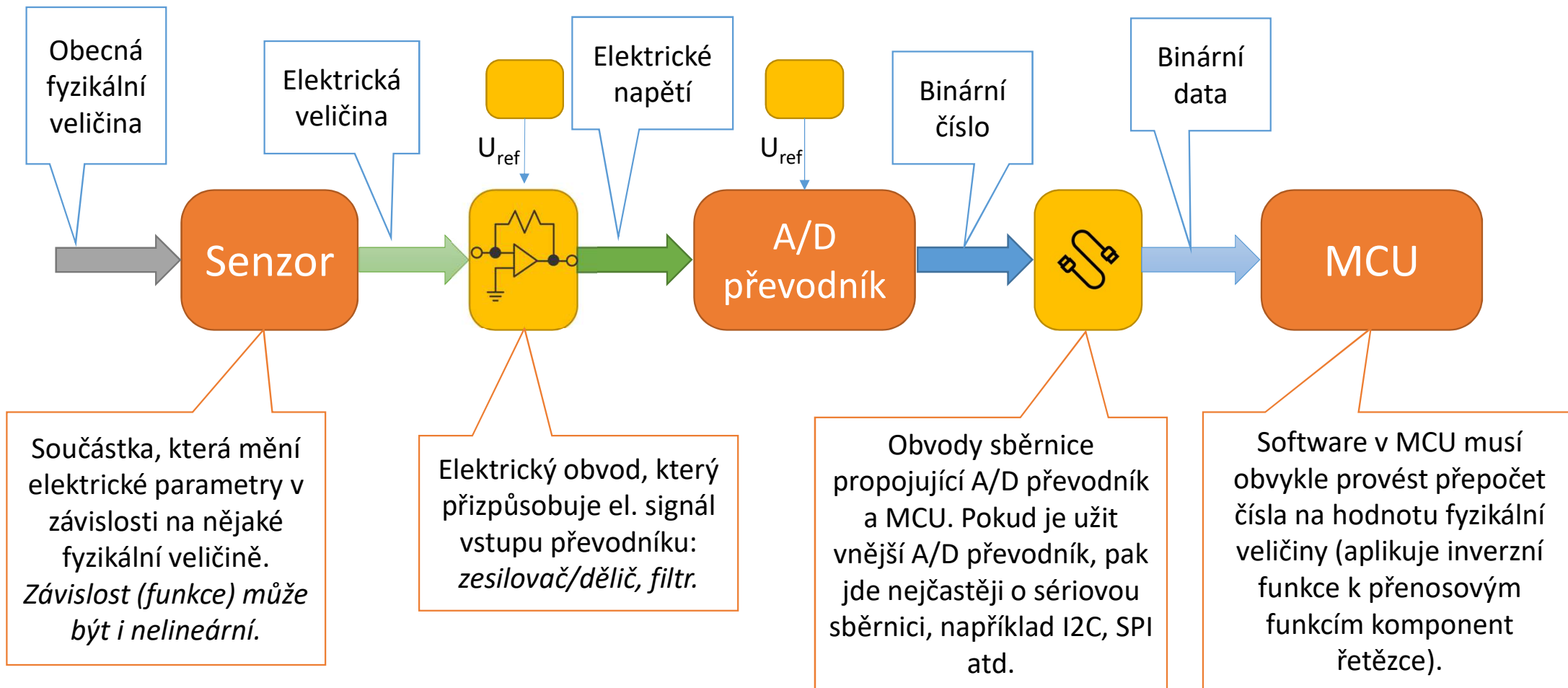


Citlivost 10 – 80 mV/A.

Snímání spojitých neelektrických veličin

a připojení takových snímačů k mikrokontroléru

Snímání neelektrických veličin mikrokontrolérem

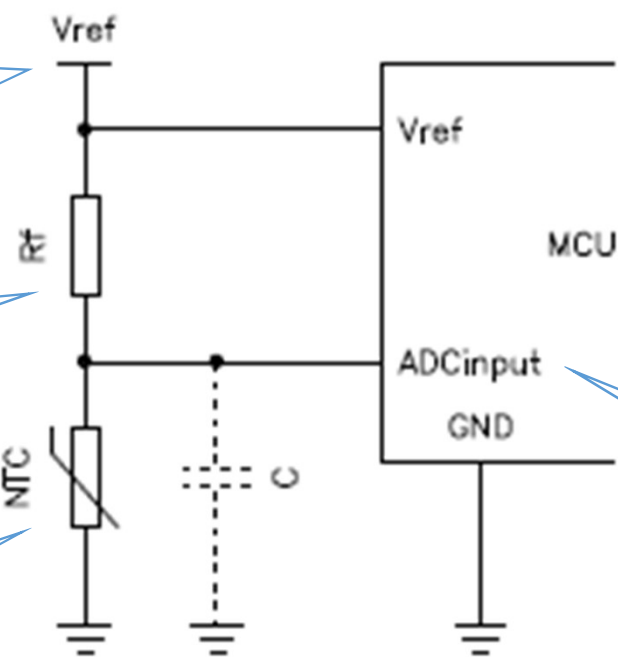


Příklad: jednoduchý senzor teploty

Dělič je napájen referenčním napětím převodníku – tak je zaručeno, že převodník dostává napětí ve „svém“ rozsahu.

Odpor – tvoří se senzorem dělič napětí a tak převádí odpor senzoru na napětí, které na vstupu potřebuje ADC

Senzor – převádí fyz. veličinu (teplotu) na elektrickou (odpor)



A/D převodník je modul uvnitř MCU, připojený přímo na sběrnici uvnitř MCU

Příklad: Glukometr (složitější řetězec)

Zdroj napětí 400mV pro reakci na testovacím proužku

Senzor – převádí fyz. veličinu (množství glukózy) na elektrickou (proud přes R1 odpovídá koncentraci glukózy)

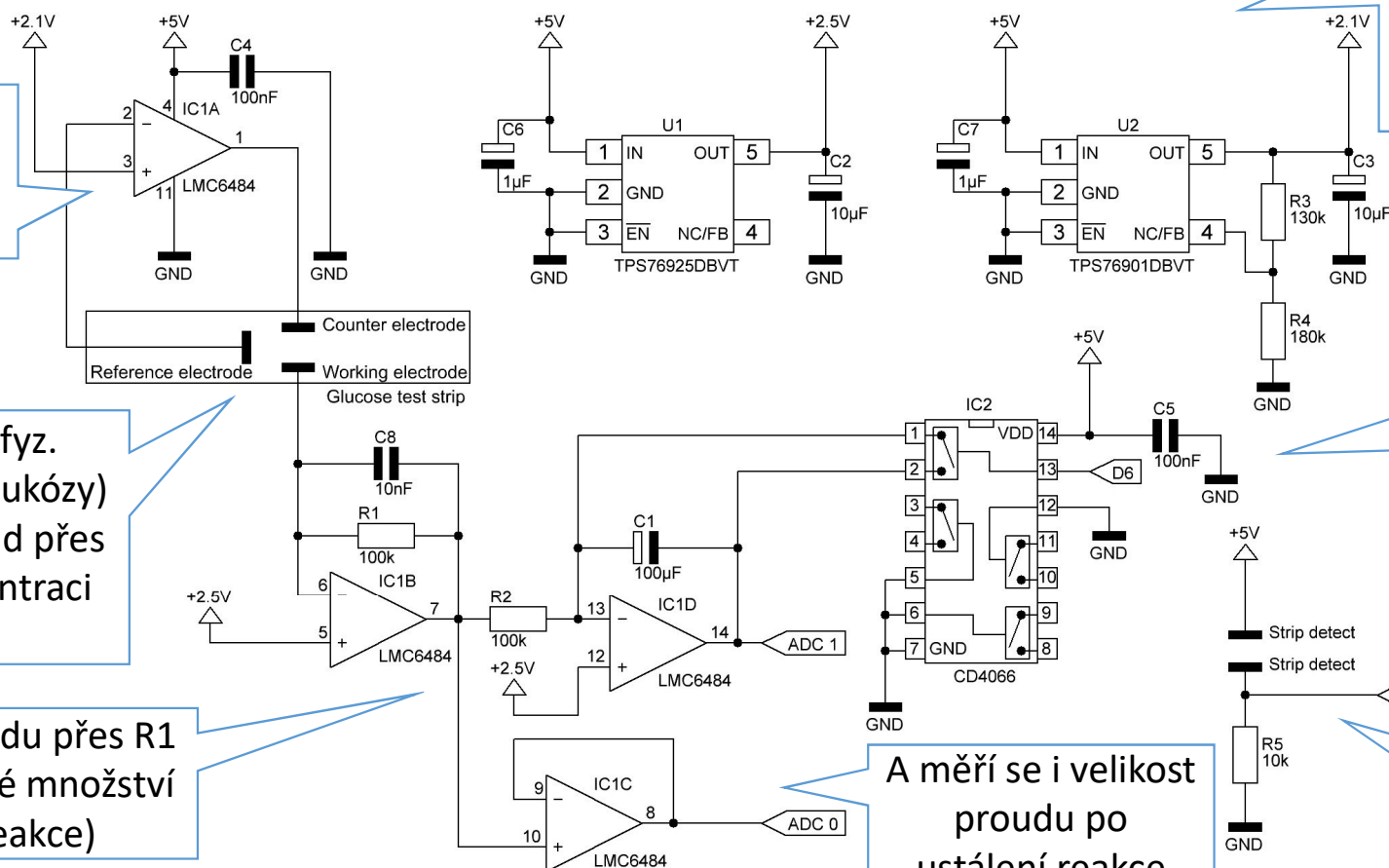
Integrátor proudu přes R1 (měří se celkové množství po dobu reakce)

A měří se i velikost proudu po ustálení reakce

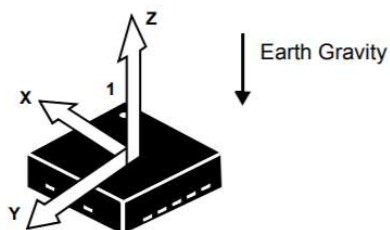
Přesné zdroje referenčního napětí 2,5V a 2,1V (rozdíl 400mV)

Reset integrátoru pro počátek měření

Detekce přítomnosti testovacího proužku

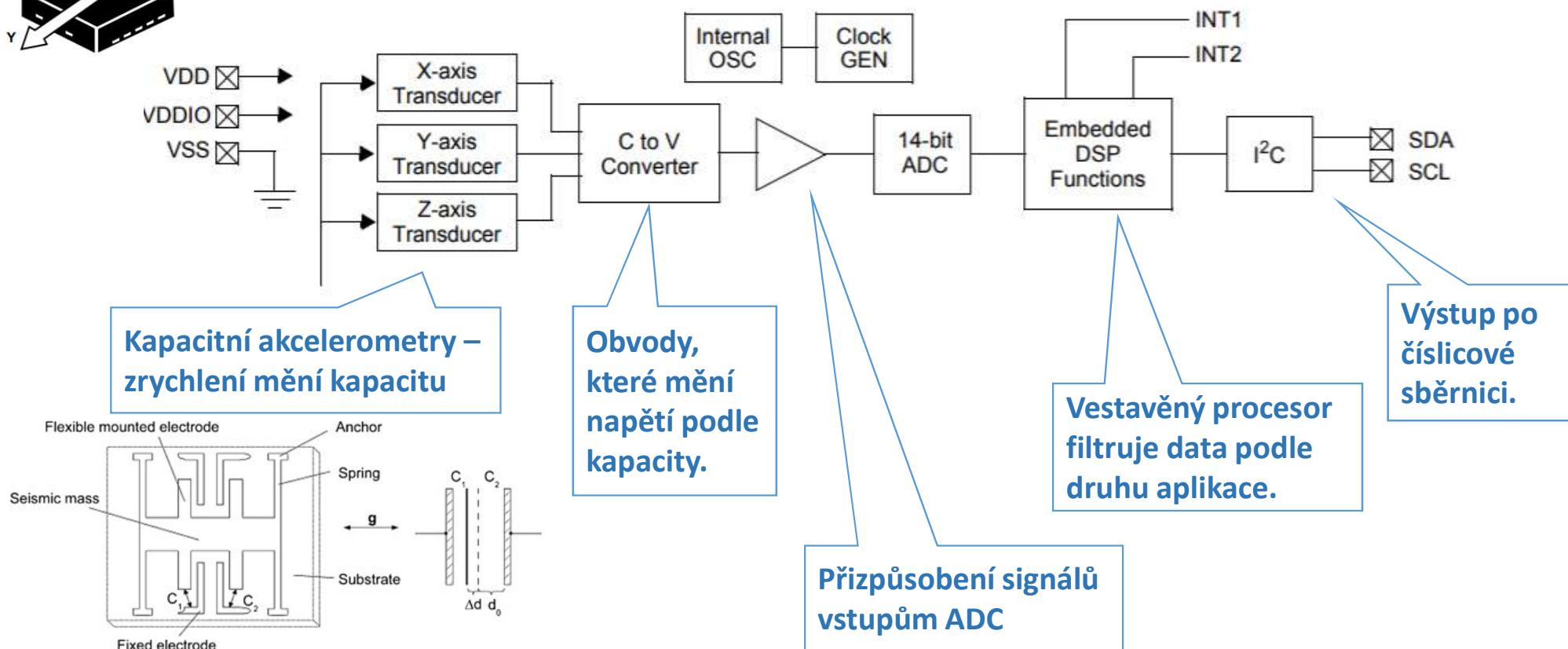


Příklad: integrovaný senzor s číslicovým výstupem

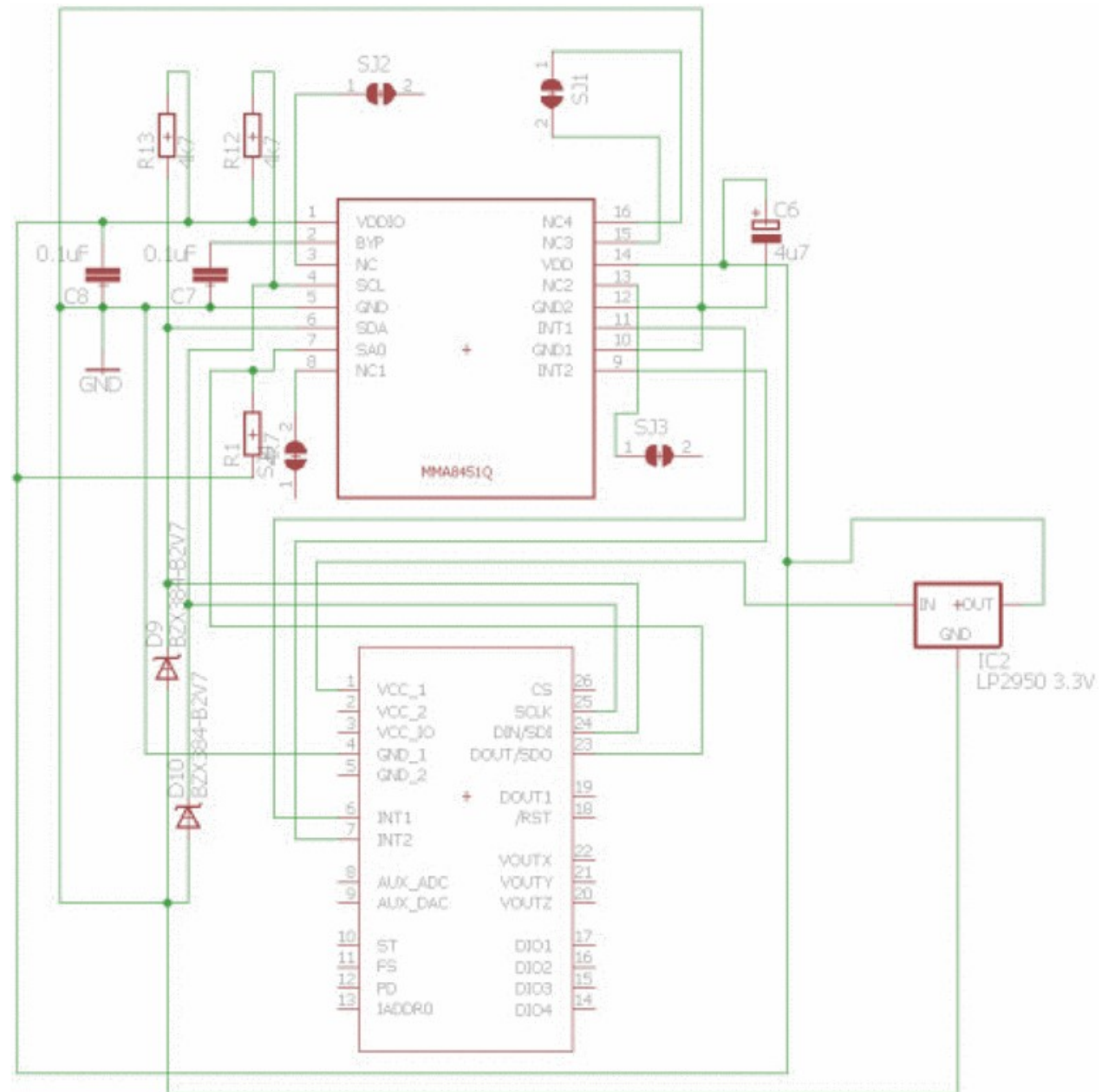


MMA8451Q, 3-axis, 14-bit/8-bit digital accelerometer

Celý řetězec (analogová i číslicová část) je na jednom čipu, MCU jen odebírá předzpracované výsledky:



Příklad:
akcelerometr
MMA8451Q a
MCU



Snímání neelektrických veličin pro MCU

- Potřebujeme snímač (senzor, *transducer*), který převede neelektrickou veličinu na elektrickou, protože MCU je vybaven na to, aby dokázal převést elektrickou veličinu (napětí) na hodnotu, s níž bude pracovat software.
- Vlastní snímače bývají často nedokonalé:
 - mají určitý rozsah, na němž mohou fungovat (extrémní hodnoty je poškodí),
 - mají určitou citlivost (poměr mezi změnou měřené veličiny a změnou výstupu),
 - mají určité rozlišení (nejmenší změna měřené veličiny, kterou je možno na výstupu rozpoznat),
 - mají určitou přesnost (rozdíl mezi naměřenou a skutečnou hodnotou),
 - závislost měřené veličiny na elektrickém chování nemusí být lineární, může mít hysterezi,
 - odezva na změny nemusí být okamžitá,
 - na výstupu se objevuje šum.

Proto je třeba vždy pečlivě volit vhodný snímač pro konkrétní aplikaci.

Příklad: Měření teploty

- Teplota je analogová veličina, MCU je digitální
- Čidlo převádí neelektrickou analogovou veličinu (teplotu) na elektrickou analogovou veličinu
- Vhodnou konfigurací elektrického obvodu s čidlem je třeba dosáhnout závislosti napětí na teplotě
- Napětí lze snímat A/D převodníkem a tak získat číslo.
- Existuje řada snímačů teploty, které se svými parametry liší a proto se hodí pro různé aplikace.

Příklad: Měření teploty

- Potřebujeme součástku, která mění svoje elektrické parametry s teplotou:
 - odpor (kovové RTD, polovodičové termistory NTC/PTC)
 - chování p-n přechodu
 - napětí/proud (termočlánky)
-
- Je možné také „bezdotykové“ (bez dotyku součástky s prostředím, jehož teplotu zjišťujeme) měření – snímání infračerveného vyzařování.

Kovové senzory teploty

V cizojazyčné literatuře se lze setkat s pojmem RTD – Resistive Temperature Detector

- Využívá se teplotní závislosti odporu vodičů. Nejčastější jsou platinové senzory teploty.

$$R_{\vartheta} = R_0 [1 + A\vartheta + B\vartheta^2 + C\vartheta^3 (\vartheta - 100)]$$

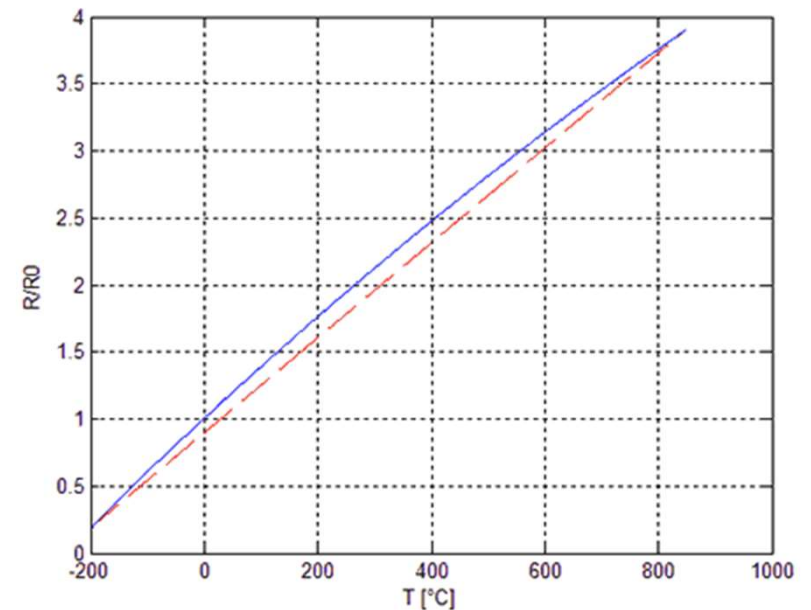
$$A = 3,90802 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}, B = -5,802 \times 10^{-7} \text{ K}^{-2},$$
$$C = -4,27350 \times 10^{-12} \text{ pro } \vartheta < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ resp. } C=0 \text{ pro } \vartheta > 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Platí pro nejčastěji užívaný senzor
Pt 100, kde je $R_0 = 100 \text{ } \Omega$

Maximální měřicí proud je asi 1mA.

Větší proud bude ohřívat senzor a způsobí tak chybu.

Při 1 mA se ovšem napětí na senzoru pohybuje v řádu desetin voltu!



Kovové senzory teploty

- Kromě platiny lze najít ještě senzory niklové a měděné:

Materiál	odpor při 0°C	Poměr $R_{100^{\circ}\text{C}}/R_{0^{\circ}\text{C}}$	rozsah měření
Pt	100	1,385	-200 až 850°C
Ni	100	1,618	-60 až 180°C
Cu	100	1,426	-200 až 200°C

Niklové senzory mají větší nelinearitu a nižší teplotní rozsah, měděné senzory snadno oxidují.

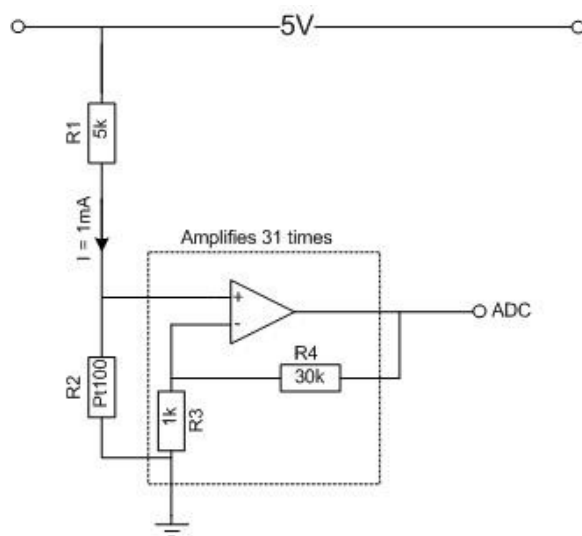
Nejčastěji se používá právě platina pro její chemickou a časovou stálost, vysokou teplotu tavení (rozsah) a možnost dosažení vysoké čistoty (99,9 až 99,999%).

Typický je $R_{0^{\circ}\text{C}} = 100 \Omega$, ale existují třeba i 50, 200, 500, 1000 a 2000 Ω .

Podoby senzoru Pt 100



Zapojení s Pt 100 - příklady



Jednoduchý obvod, kde proud čidlem je zhruba určen rezistorem R1 a napětí na senzoru je zesíleno operačním zesilovačem.

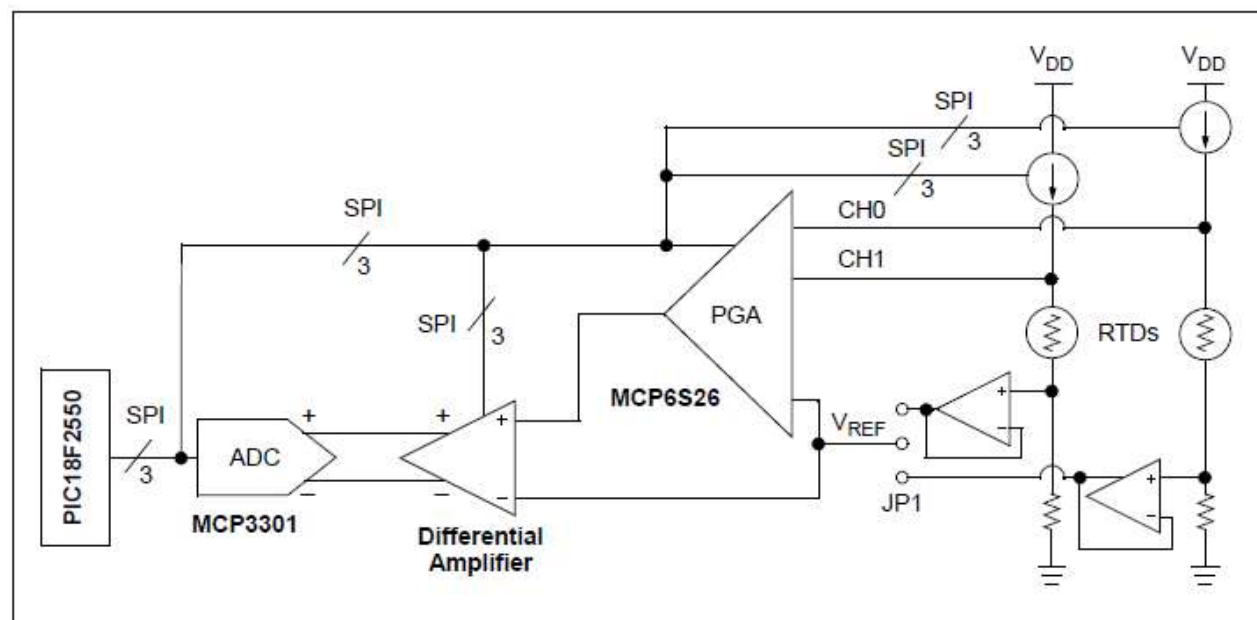


FIGURE 2-2: Simplified PT100 RTD Evaluation Board Schematic.

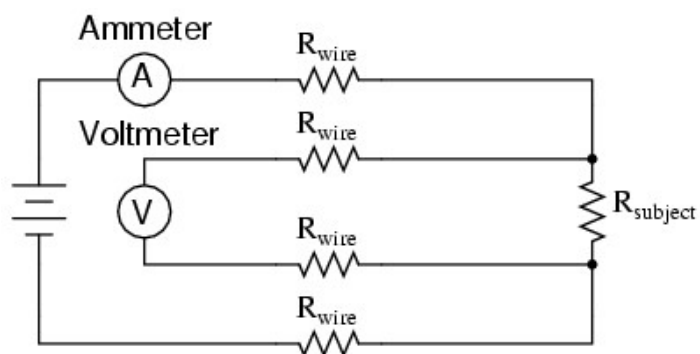
Obvod s programovatelnými proudovými zdroji (přes SPI) a programovatelným zesilovačem (přes SPI) pro připojení více čidel Pt 100.

Zapojení s Pt 100 - čtyřvodičové

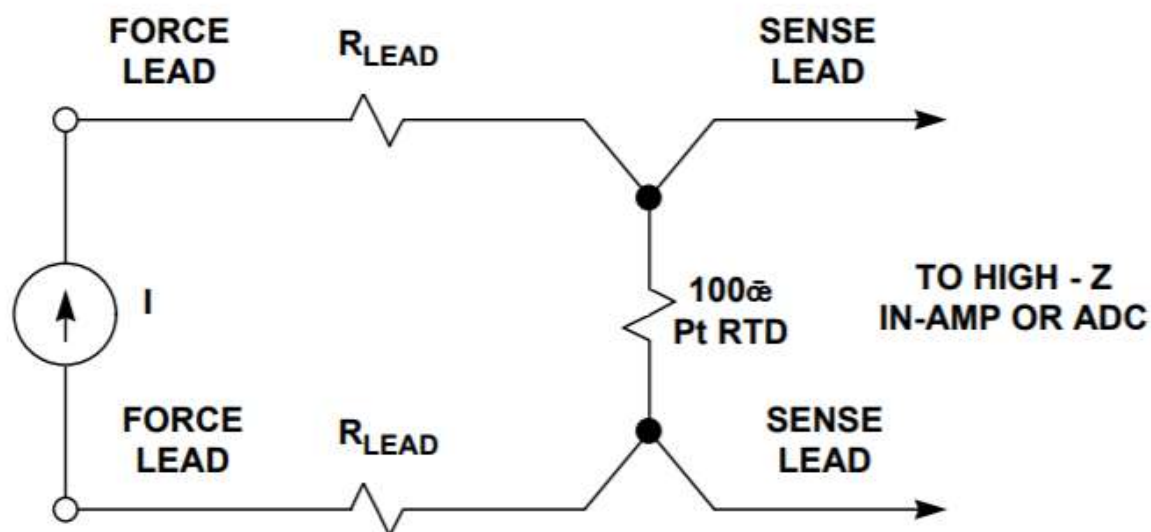
Pro kompenzaci chyby způsobené odporem přívodních vodičů:

- napájecí proud způsobí úbytky na vodičích,
- o tyto úbytky by se naměřilo menší napětí.

Pokud se napětí snímá vodiči „bez proudu“ (obvod ADC má velký vstupní odpor), úbytky na nich jsou zanedbatelné.

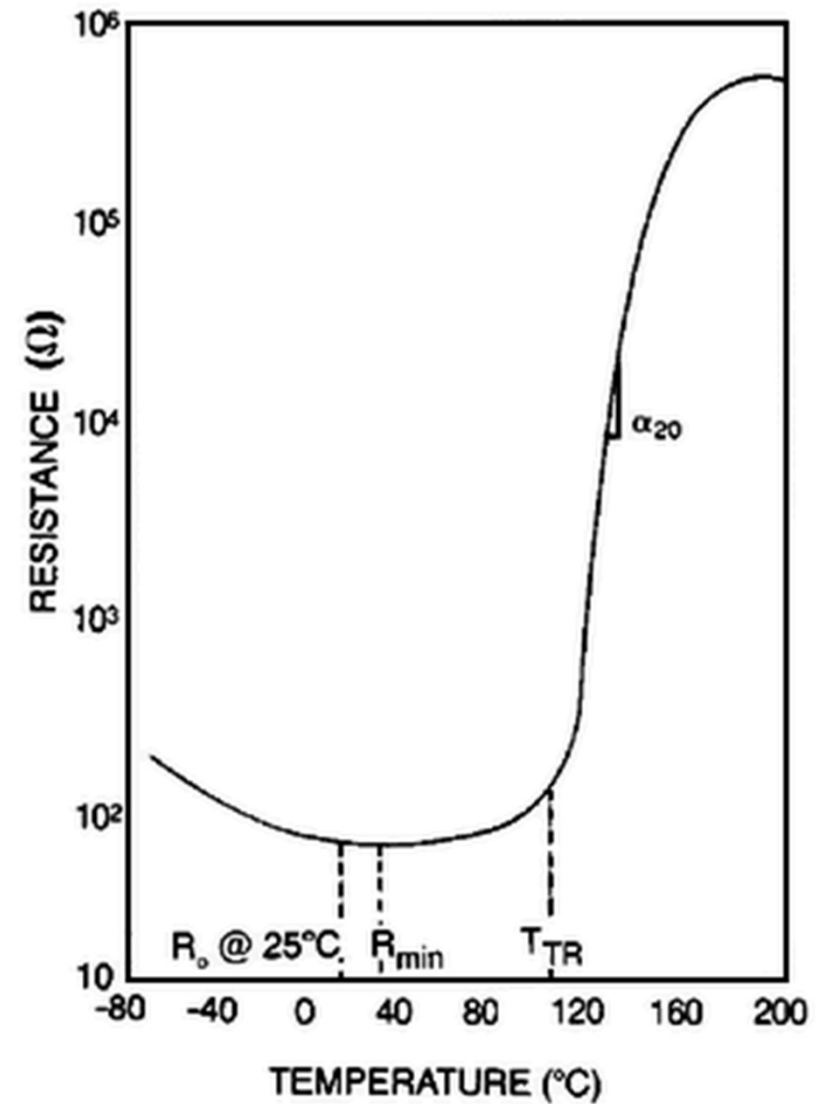


$$R_{\text{subject}} = \frac{\text{Voltmeter indication}}{\text{Ammeter indication}}$$



Termistory PTC

- Velmi nelineární závislost,
- používají se ve spojitosti s mikrokontrolérem jen málo.



Termistory NTC

- S rostoucí teplotou odpor klesá.
- Závislost je nelineární:

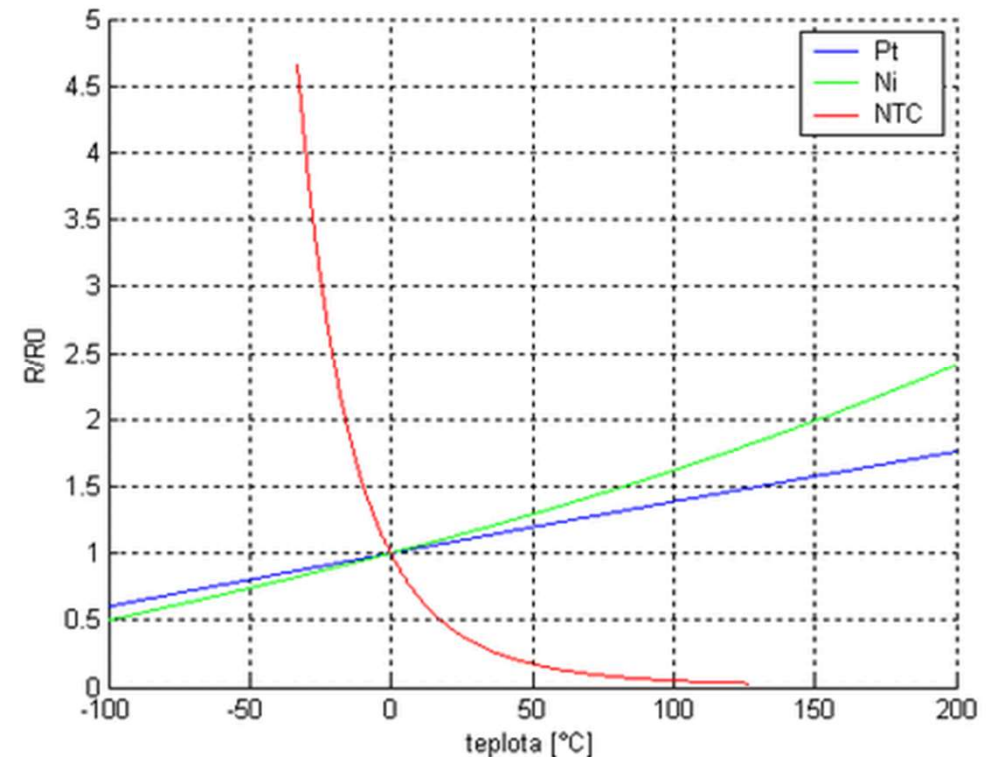
$$R = R_0 \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)},$$

- Pro malý rozsah teplot lze charakteristiku s malou chybou linearizovat:

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta T), \quad \alpha = -\frac{B}{T_0^2},$$

Hodnota R_0 bývá obvykle v katalogu pro 25°C, hodnota B se uvádí v K.

Termistory NTC mají menší teplotní rozsah než Pt čidla, ale jsou levnější. Používají se proto v řadě aplikací.

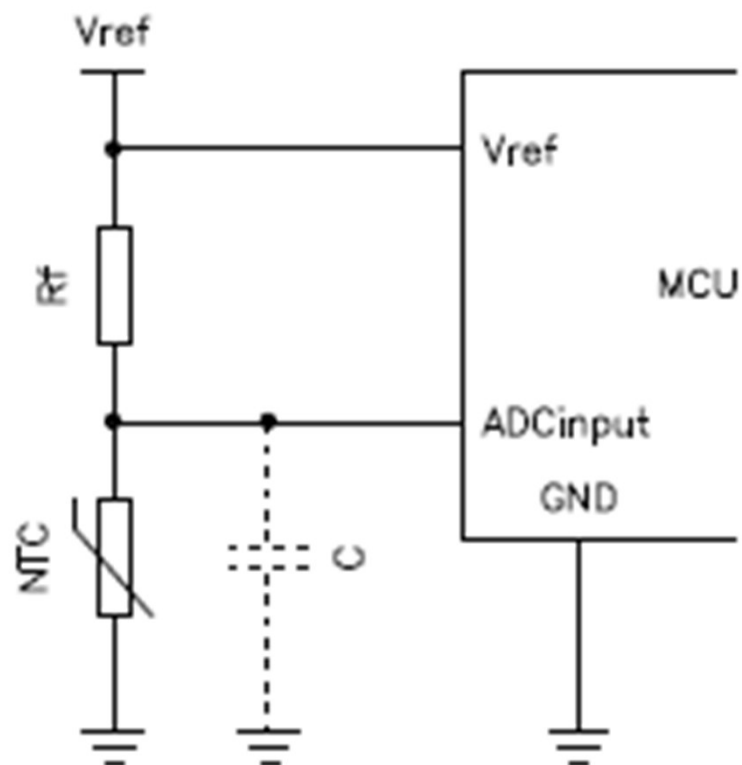


Zapojení s NTC

NTC je zapojen v napěťovém děliči:

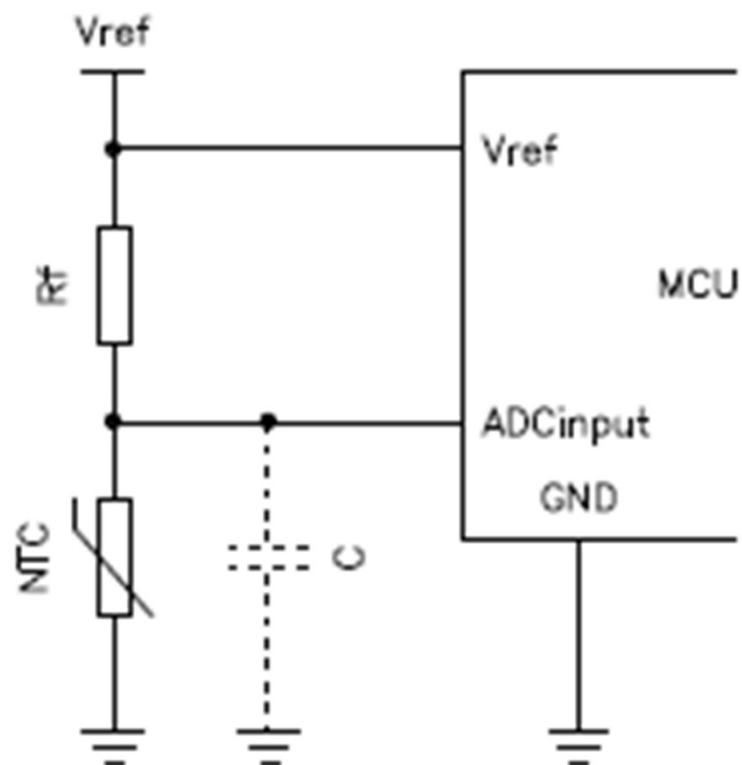
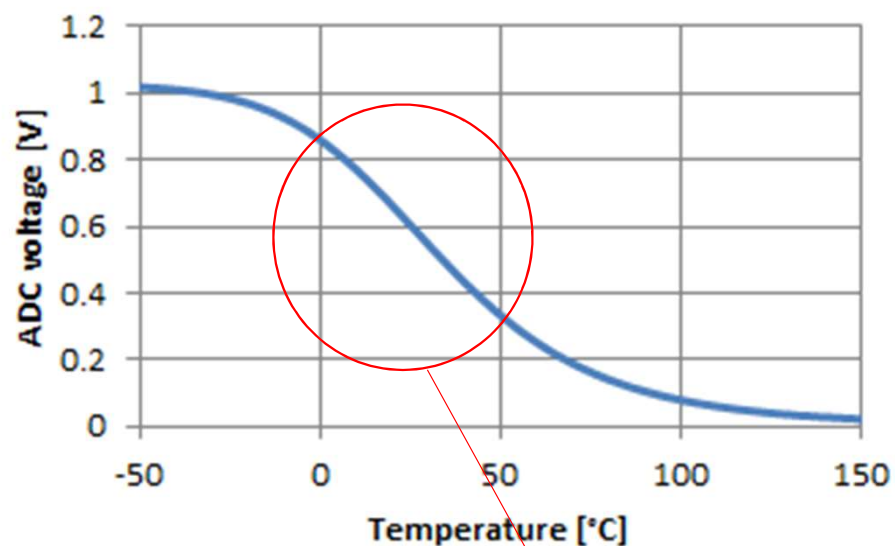
$$U_{out}(T) = U_{ref} \frac{R(T)}{R_f + R(T)} \quad [\text{V}]$$

Kondenzátor C filtruje šum, který může vznikat na vodičích od termistoru (zejména, když jsou delší). Teplota se obvykle nemění příliš rychle, takže časová konstanta RC článku může být velká.



Zapojení s NTC - příklad

NTC $R_{25^{\circ}\text{C}} = 6,8 \text{ k}\Omega$ a $B = 4200\text{K}$, $R_f = 4,7 \text{ k}\Omega$



Povšimněte si, že v rozsahu „běžných“ teplot je závislost teploty na napětí docela lineární a hlavně dostatečně strmá. Lze tedy měřit se slušným rozlišením a malou chybou.

Co obvykle najdeme v katalogu:

NTC $R_{25^{\circ}\text{C}} = 6,8 \text{ k}\Omega$ a $B = 4200\text{K}$



Temperature measurement and compensation	B57164K
Leaded NTC thermistors, lead spacing 5 mm	K164

Applications

- Temperature measurement and compensation

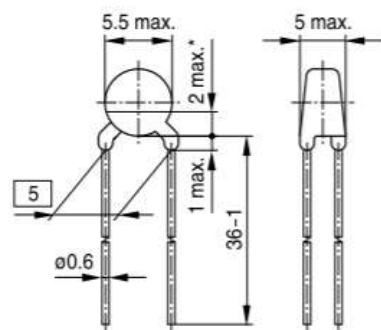
Features

- Wide resistance range
- Cost-effective
- Lacquer-coated thermistor disk
- Tinned copper leads
- Lead spacing 5 mm
- Marked with resistance and tolerance

Delivery mode

Bulk (standard), cardboard tape, reeled or in Ammo pack on request

Dimensional drawing



* May be free of lacquer

Dimensions in mm
Approx. weight 370 mg

General technical data

Climatic category	(IEC 60068-1)	P_{25}	55/125/21	
Max. power	(at 25 °C)	$\Delta R_F/R_F$	450	mW
Resistance tolerance		T_R	$\pm 5, \pm 10$	%
Rated temperature		δ_{th}	25	°C
Dissipation factor	(in air)	τ_c	approx. 7.5	mW/K
Thermal cooling time constant	(in air)	C_{th}	approx. 20	s
Heat capacity			approx. 150	mJ/K

R/T No.	2007		2903		2904	
T (°C)	$B_{25/100} = 4830 \text{ K}$		$B_{25/100} = 4200 \text{ K}$		$B_{25/100} = 4300 \text{ K}$	
	R_T/R_{25}	α (%/K)	R_T/R_{25}	α (%/K)	R_T/R_{25}	α (%/K)
-55.0	185.87	8.4	120.03	7.7	121.46	7.4
-50.0	123.23	8.1	82.38	7.4	84.439	7.2
-45.0	82.888	7.8	57.248	7.2	59.243	7.1
-40.0	56.544	7.6	40.255	7.0	41.938	6.9
-35.0	39.061	7.3	28.627	6.7	29.947	6.7
-30.0	27.321	7.1	20.577	6.6	21.567	6.6
-25.0	19.326	6.8	14.876	6.4	15.641	6.3
-20.0	13.823	6.6	10.88	6.1	11.466	6.2
-15.0	10.001	6.4	8.0808	5.9	8.451	6.0
-10.0	7.3067	6.4	6.0612	5.8	6.2927	5.9
-5.0	5.3454	6.2	4.5649	5.6	4.7077	5.7
0.0	3.9484	5.9	3.4708	5.4	3.5563	5.5
5.0	2.9595	5.7	2.6625	5.2	2.7119	5.3
10.0	2.2358	5.6	2.0599	5.1	2.086	5.1
15.0	1.7001	5.4	1.6069	4.9	1.6204	5.0
20.0	1.3021	5.4	1.2631	4.8	1.2683	4.8
25.0	1.0000	5.2	1.0000	4.6	1.0000	4.7
30.0	0.7756	5.0	0.79593	4.5	0.7942	4.6
35.0	0.60507	4.9	0.63796	4.4	0.63268	4.5
40.0	0.47498	4.8	0.51467	4.2	0.5074	4.3
45.0	0.37533	4.7	0.41887	4.1	0.41026	4.2
50.0	0.29823	4.6	0.34272	4.0	0.33363	4.1
55.0	0.23763	4.5	0.28081	3.9	0.27243	4.0
60.0	0.19041	4.4	0.23141	3.8	0.2237	3.9
65.0	0.15356	4.3	0.19211	3.7	0.18459	3.8
70.0	0.12442	4.2	0.16027	3.6	0.15305	3.7
75.0	0.10131	4.1	0.13421	3.5	0.12755	3.6
80.0	0.08286	4.0	0.11288	3.4	0.10677	3.5
85.0	0.068004	3.9	0.095326	3.3	0.089928	3.4
90.0	0.056032	3.8	0.080828	3.2	0.076068	3.3
95.0	0.046379	3.8	0.068916	3.2	0.064524	3.3
100.0	0.038533	3.7	0.058989	3.1	0.054941	3.2
105.0	0.032169	3.6	0.050701	3.0	0.047003	3.1
110.0	0.026952	3.5	0.043735	3.0	0.040358	3.0
115.0	0.022658	3.4	0.037778	2.9	0.034743	3.0
120.0	0.019111	3.3	0.032736	2.8	0.030007	2.9
125.0	0.016201	3.3	0.028513	2.7	0.026006	2.8
130.0	—	—	—	—	0.022609	2.8
135.0	—	—	—	—	0.01972	2.7
140.0	—	—	—	—	0.017251	2.6

PN přechod jako čidlo teploty

V cizojazyčné literatuře se lze setkat s pojmem Silicon Bandgap Temperature Sensor

- Napětí na otevřeném křemíkovém přechodu je *asi 0,6 – 0,7 V*.
- Kolik *přesně*, to závisí zejména na procházejícím proudu **a teplotě**. Mění se asi o 2 mV s každým °C.

PN přechod jako vlastní čidlo teploty – lze použít jakýkoliv, zde součástka přímo optimalizovaná pro tento účel

Zdroj konstantního proudu = lineární závislost napětí na teplotě.

Nastavení zesílení = nastavení rozsahu výstupu

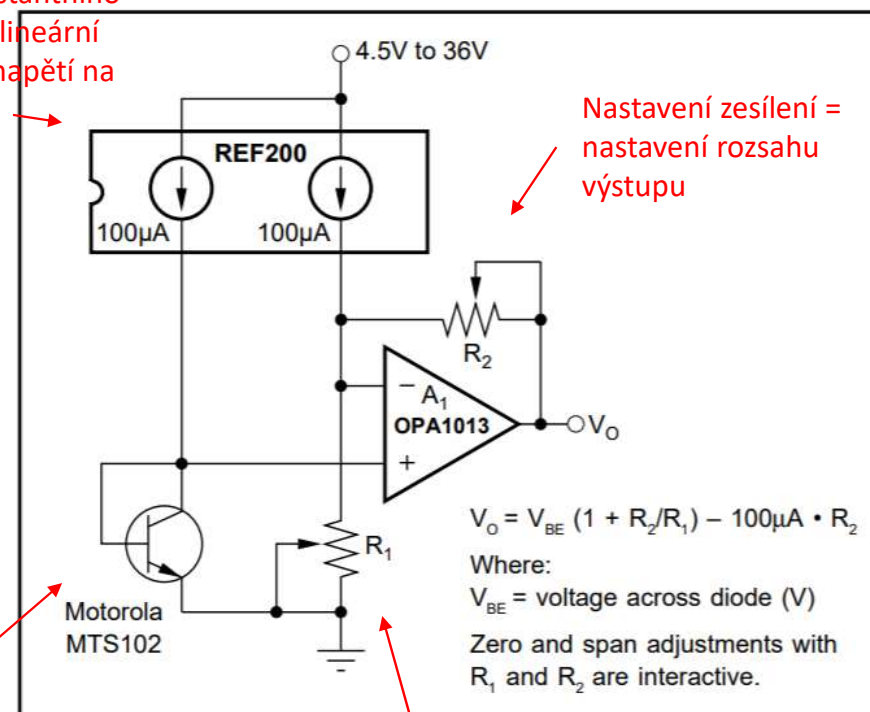


Figure 1. Simple Diode-based Temperature Measurement Circuit.

Nastavení napětí pro srovnání = nastavení „nuly“.

PN přechod jako čidlo teploty

V cizojazyčné literatuře se lze setkat s pojmem Silicon Bandgap Temperature Sensor

- Jako čidlo - diskrétní součástka k MCU se moc nepoužívá, integrované na čipu ale často ano.
- Čidlo je zde vlastně stejná struktura a stejný materiál jako zbytek čipu.

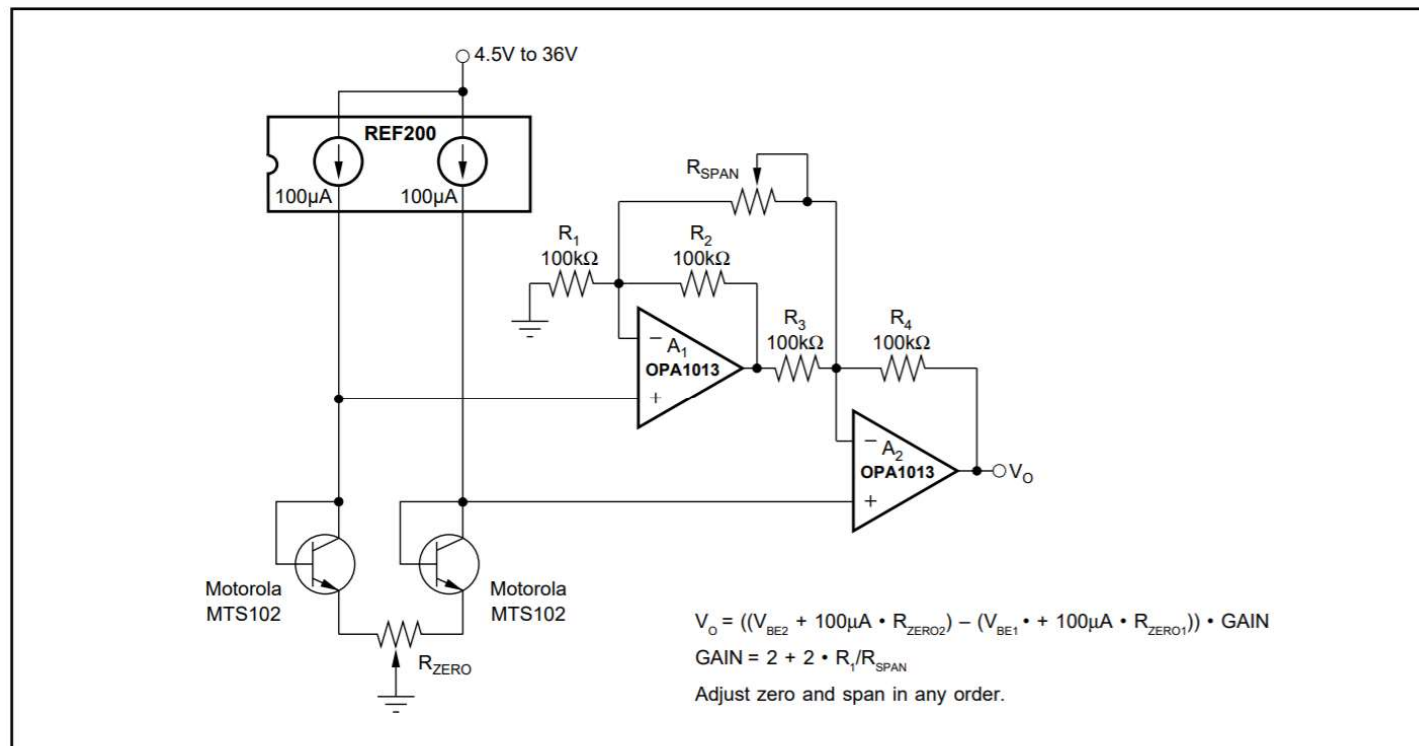
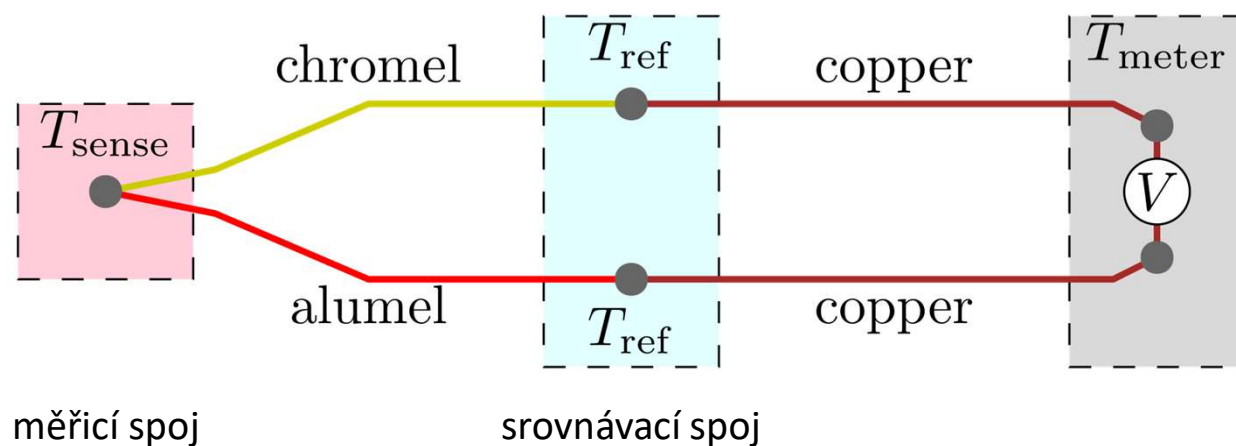


Figure 5. Differential Temperature Measurement Circuit.

Termočlánek

- Dva různé kovy jsou spojeny (svařeny). Je-li teplotní rozdíl mezi spojem a konci, vznikne napětí. Je úměrné rozdílu teplot.




















Pozor – i napojení konců kovových drátů termočláнку na měděné vodiče jsou termočláanky!
Je třeba udržovat je na 0°C nebo alespoň znát přesně jejich teplotu a změřené napětí dle ní kompenzovat.
Jde o tzv. srovnávací spoj (pokud by byl na stejné teplotě jako měřicí spoj, neměříme nic).

Různé typy termočlánků

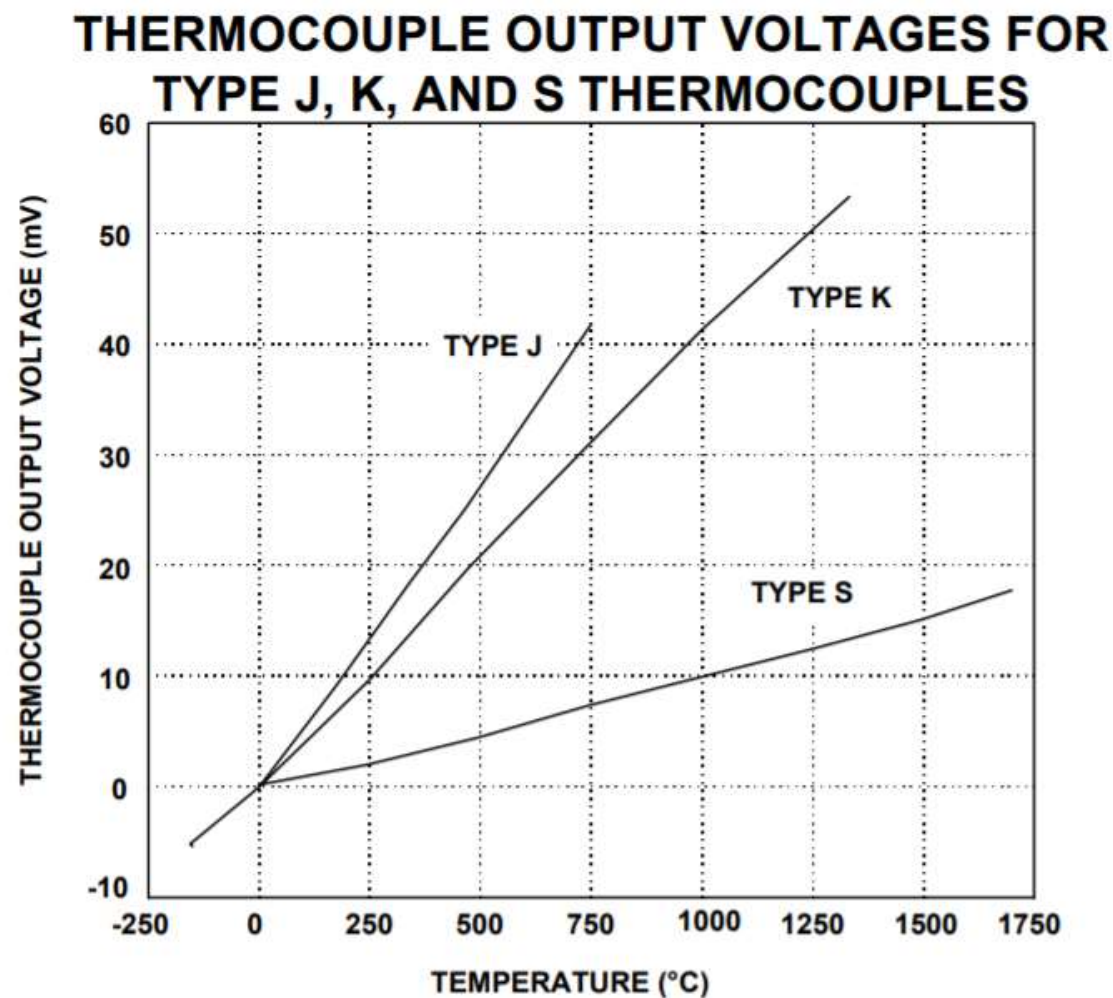
COMMON THERMOCOUPLES

JUNCTION MATERIALS	TYPICAL USEFUL RANGE (°C)	NOMINAL SENSITIVITY ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	ANSI DESIGNATION
Platinum (6%)/ Rhodium- Platinum (30%)/Rhodium	38 to 1800	7.7	B
Tungsten (5%)/Rhenium - Tungsten (26%)/Rhenium	0 to 2300	16	C
Chromel - Constantan	0 to 982	76	E
Iron - Constantan	0 to 760	55	J
Chromel - Alumel	-184 to 1260	39	K
Platinum (13%)/Rhodium- Platinum	0 to 1593	11.7	R
Platinum (10%)/Rhodium- Platinum	0 to 1538	10.4	S
Copper-Constantan	-184 to 400	45	T

Typ termočlánku bývá rozlišen
barvami přírodních vodičů
(bohužel existuje více systémů):

IEC 60584-3 Color Coding	
	
Thermocouple Grade	Intrinsically Safe
K 	
T 	
J 	
N 	
E 	
S 	
R 	
B 	

Chování vybraných termočlánků



Kompenzace teploty „srovnávacího spoje“

The **TMP35/TMP36/TMP37** are low voltage, precision centigrade temperature sensors. They provide a voltage output that is linearly proportional to the Celsius (centigrade) temperature. The **TMP35/TMP36/TMP37** do not require any external calibration to provide typical accuracies of $\pm 1^\circ\text{C}$ at $+25^\circ\text{C}$ and $\pm 2^\circ\text{C}$ over the -40°C to $+125^\circ\text{C}$ temperature range.

Low voltage operation (2.7 V to 5.5 V)

Calibrated directly in $^\circ\text{C}$

10 mV/ $^\circ\text{C}$ scale factor (20 mV/ $^\circ\text{C}$ on **TMP37)**

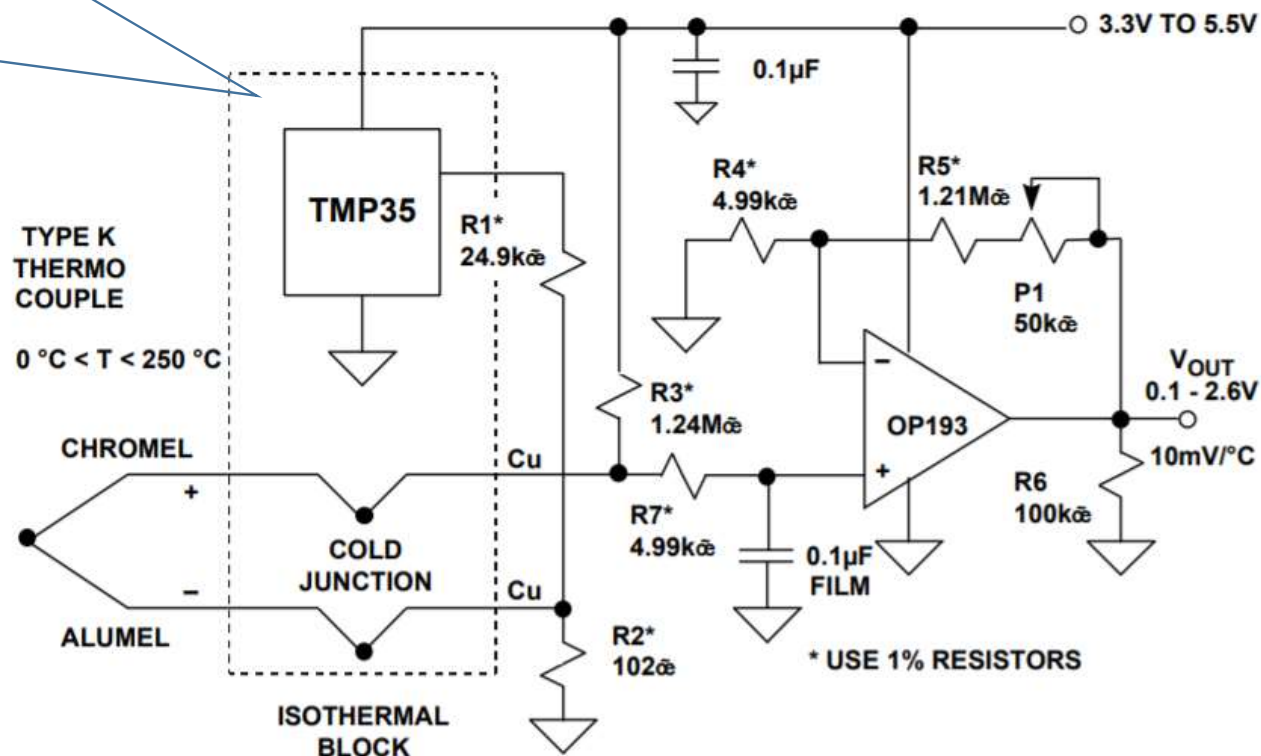
$\pm 2^\circ\text{C}$ accuracy over temperature (typ)

$\pm 0.5^\circ\text{C}$ linearity (typ)

Stable with large capacitive loads

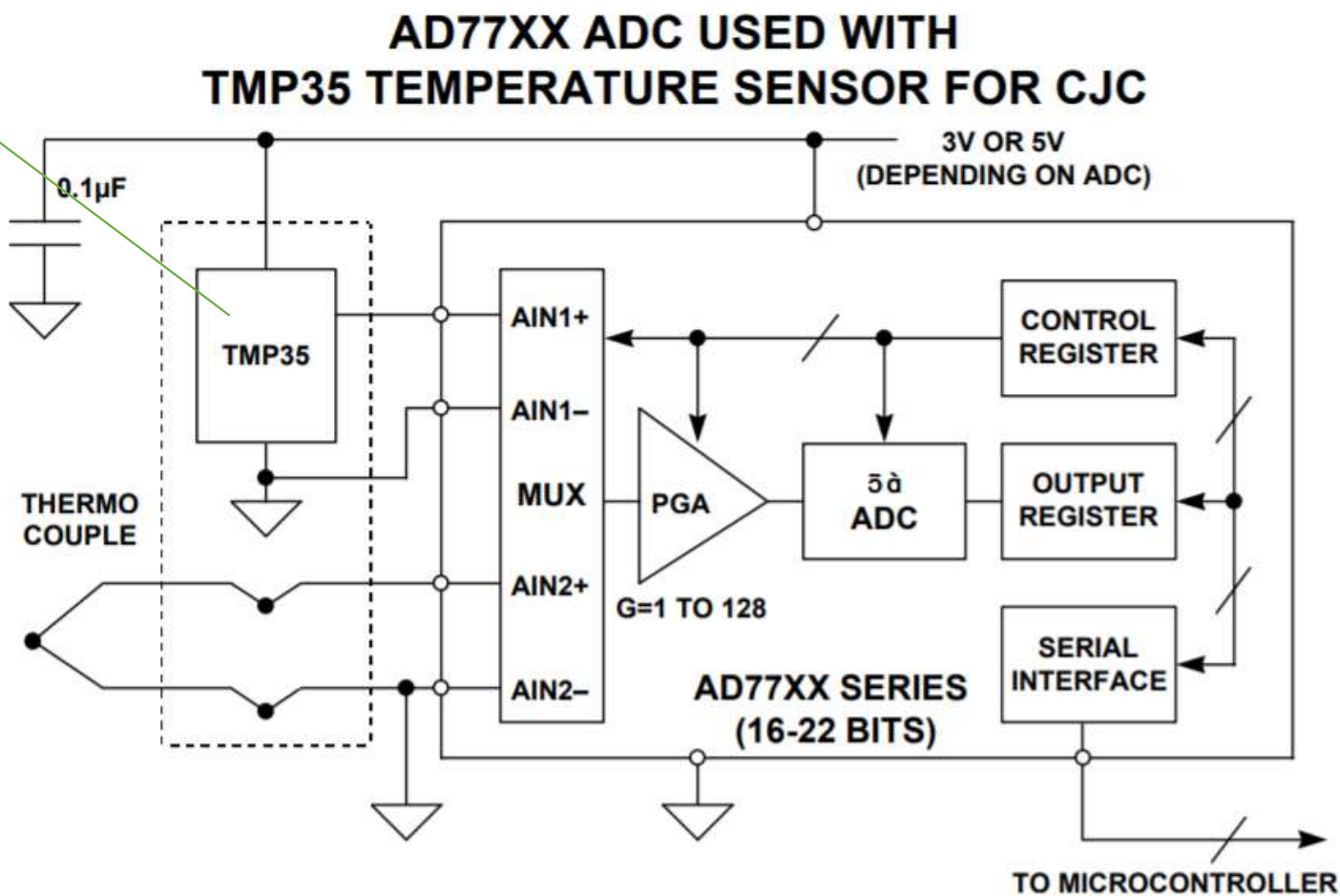
Specified -40°C to $+125^\circ\text{C}$, operation to $+150^\circ\text{C}$

USING A TEMPERATURE SENSOR FOR COLD-JUNCTION COMPENSATION (TMP35)



Kompenzace i linearizace mikrokontrolérem

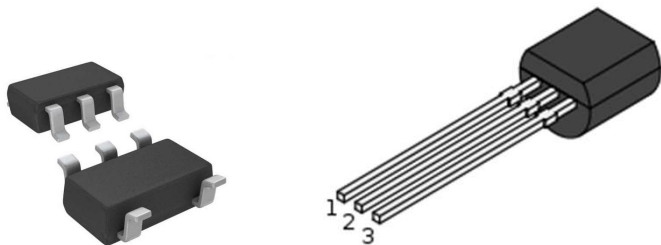
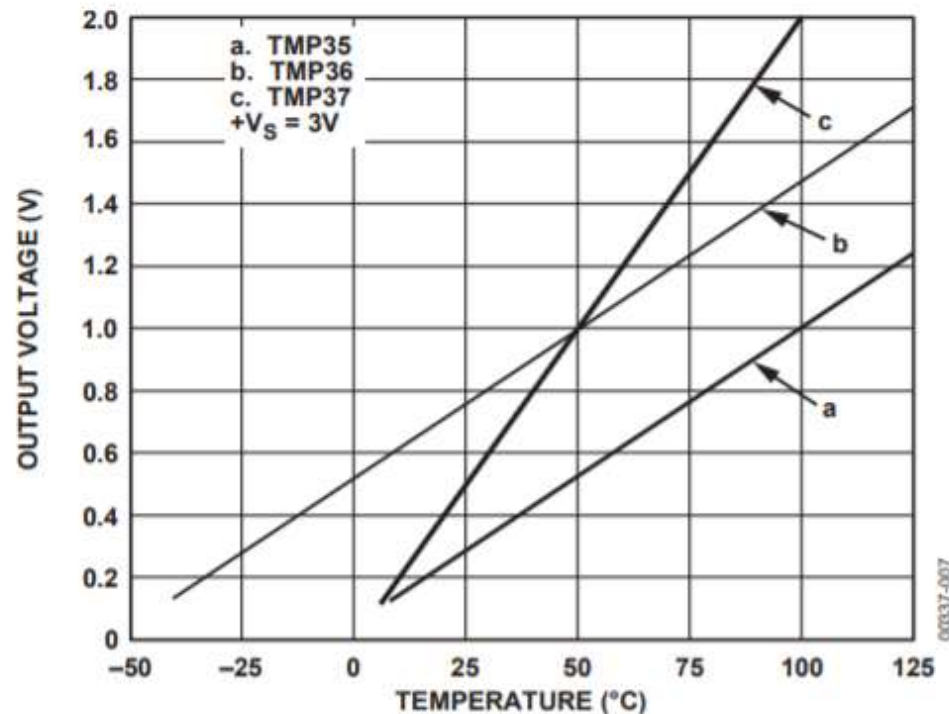
Převodník
napětí/teplota snímá
teplotu srovnávacího
spoje



Převodníky teplota/napětí

- A/D převodník v MCU chce napětí!
- Dosud uvedená „pasivní“ čidla teploty se musí zapojit tak, aby dávala přesné napětí pro konkrétní teplotu – chce to přesný referenční zdroj, přesné komponenty (rezistory) a lineární zesilovače.
- Kromě toho je odezva často nelineární (linearizace obvykle v SW, tedy náročnější na výpočet).
- Převodník teplota/napětí lze koupit jako kompletní součástku – přesný lineární převodník teplota/napětí.

TMP35 – převodník teplota/napětí



Pouzdro SOT-23 nebo TO-92 nedává příliš možností pro měření teploty jiného média než okolního vzduchu.

The **TMP35/TMP36/TMP37** are low voltage, precision centigrade temperature sensors. They provide a voltage output that is linearly proportional to the Celsius (centigrade) temperature. The **TMP35/TMP36/TMP37** do not require any external calibration to provide typical accuracies of $\pm 1^\circ\text{C}$ at $+25^\circ\text{C}$ and $\pm 2^\circ\text{C}$ over the -40°C to $+125^\circ\text{C}$ temperature range.

Low voltage operation (2.7 V to 5.5 V)

Calibrated directly in $^\circ\text{C}$

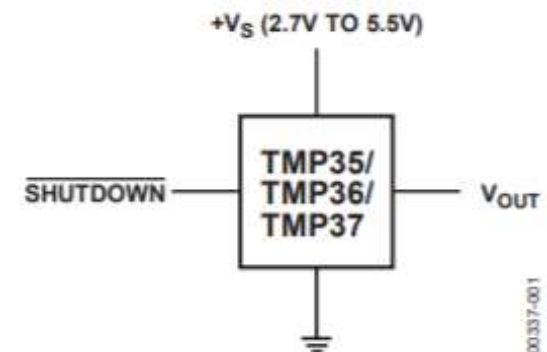
10 mV/ $^\circ\text{C}$ scale factor (20 mV/ $^\circ\text{C}$ on **TMP37)**

$\pm 2^\circ\text{C}$ accuracy over temperature (typ)

$\pm 0.5^\circ\text{C}$ linearity (typ)

Stable with large capacitive loads

Specified -40°C to $+125^\circ\text{C}$, operation to $+150^\circ\text{C}$



AD592 – převodník teplota/proud

FEATURES

High Precalibrated Accuracy: 0.5°C max @ +25°C

Excellent Linearity: 0.15°C max (0°C to +70°C)

Wide Operating Temperature Range: -25°C to +105°C

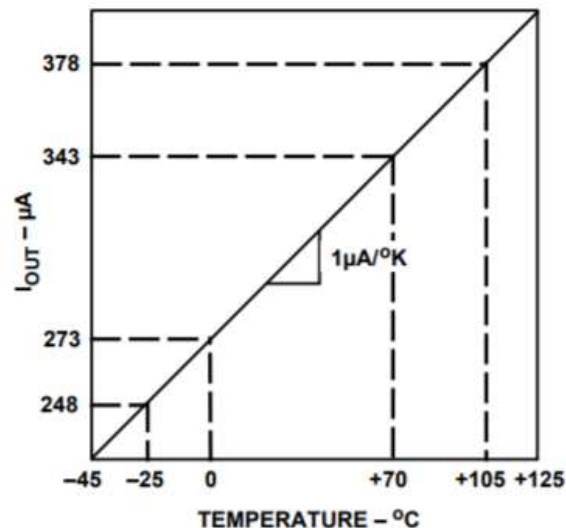
Single Supply Operation: +4 V to +30 V

Excellent Repeatability and Stability

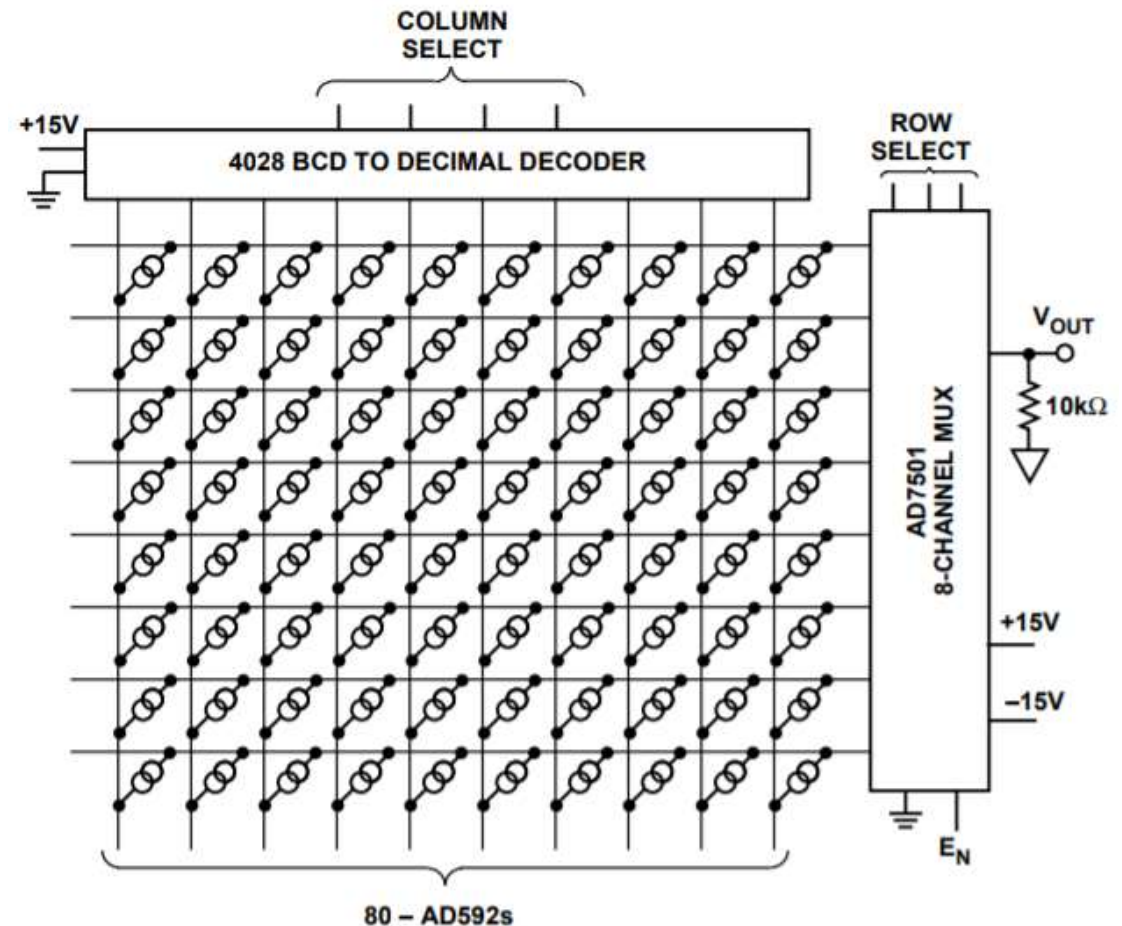
High Level Output: 1 $\mu\text{A}/\text{K}$

Two Terminal Monolithic IC: Temperature In/
Current Out

Minimal Self-Heating Errors



Příklad: matice 80 čidel s výběrem snímaného pomocí 7 bitů



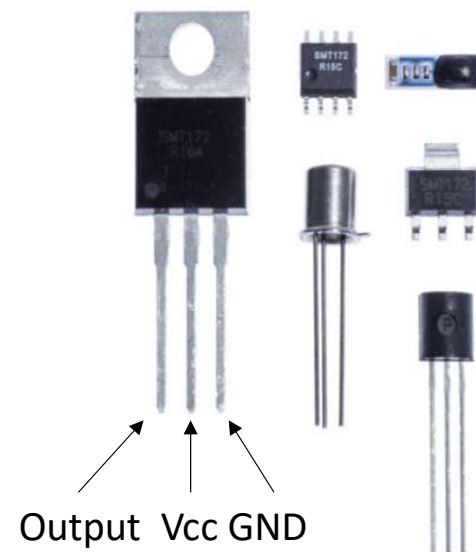
Převodník teplota/střída (SMT 172)

Features and Highlights

- World's most energy efficient temperature sensor
0.36μJ/measurement ($T_A=25^{\circ}\text{C}$, 3.3V)
- Wide temperature range: -45°C to 130°C
- Wide supply voltage range: 2.7V to 5.5V
- High accuracy: $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ (-10°C to 100°C T018)
 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (-20°C to 60°C , T018)
- Extreme low noise: 0.0002°C
- Ultra-low current (60μA active or 220nA average)
- Excellent long term stability
- Direct interface with Microcontroller (MCU)

$$T = \frac{DC - 0.32}{0.0047} = 212.77 \times DC - 68.085$$

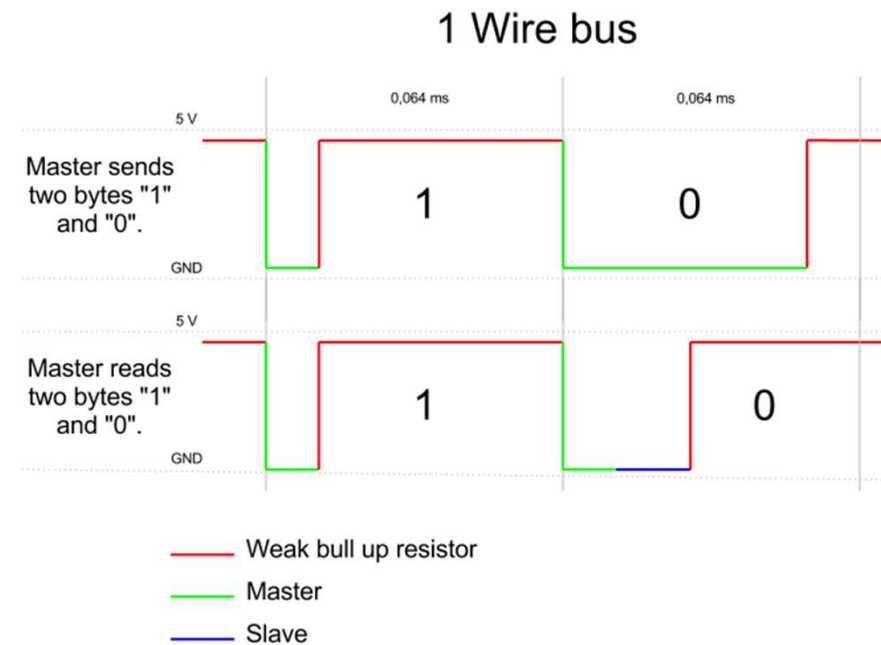
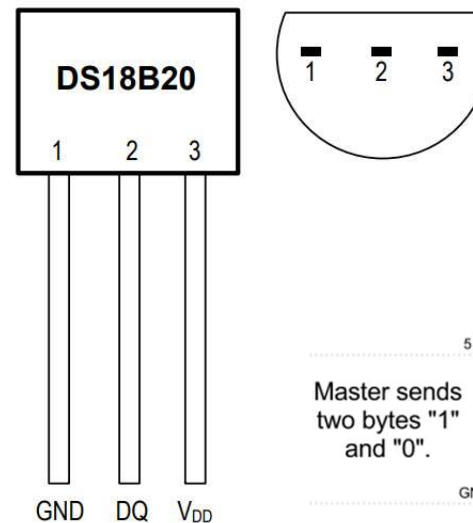
The frequency of the sensor output varies with the temperature and the supply voltage, but it does not contain temperature information. Only the duty cycle contains temperature information in accordance to the formula given above.



Není třeba A/D převodník, lze připojit např. k timeru!
Ušetří se na energii pro převodník, sama součástka
má také velmi nízkou spotřebu – ideální pro low-
power aplikace.

Kalibrovaný teploměr s číslicovým výstupem (DS18B20)

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
 - Measures Temperatures from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
 - ±0.5°C Accuracy from -10°C to +85°C
 - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits
 - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
 - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin μ SOP, and 3-Pin TO-92 Packages



Snímače tlaku - typy

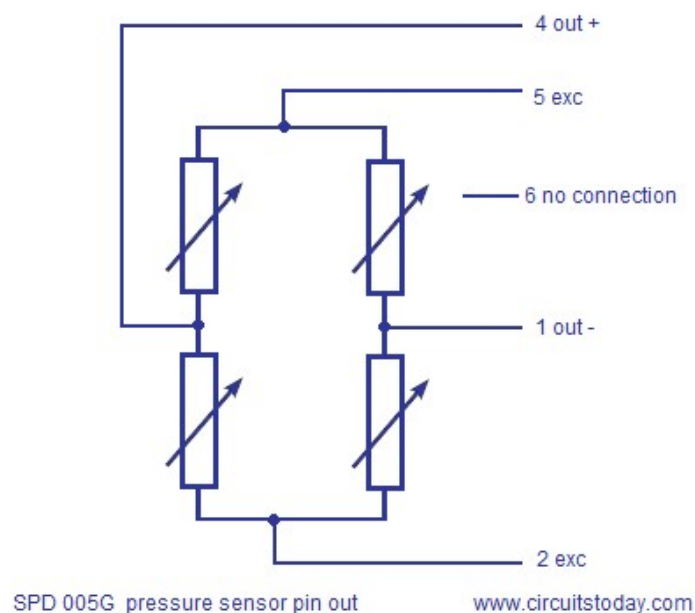
- Absolutní/barometry – měří tlak proti ideálnímu vakuu.
- Manometry (gauge) – měří tlak proti atmosférickému tlaku.
- Podtlakové/vakuometry (vacuum) – měří tlaky nižší než je atmosférický tlak.
- Diferenční – měří rozdíl dvou tlaků.
- Zapouzdřený (sealed) – měří tlak proti nějakému danému tlaku.

Snímače tlaku podle provedení

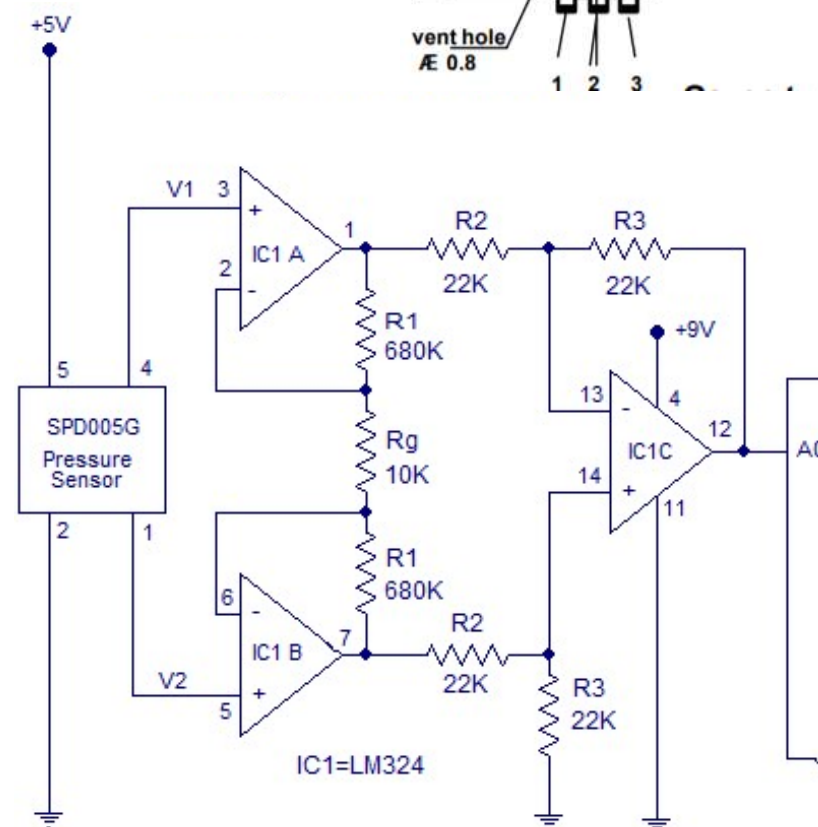
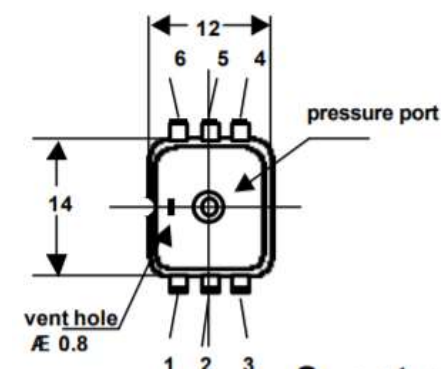
Tenzometry = el. snímače
mech. namáhání

- Odporové (rezistivní)
 - Piezorezistivní, tlustovrstvé, tenkovrstvé (průhyb tlakem mění délku vodivé vrstvy = odpor)
- Kapacitní (membrána se prohýbá tlakem a tím se mění vzdálenost od pevné elektrody)
- Indukční (průhyb membrány mění indukčnost – posouvá jádro cívky)
- Piezoelektrické (deformací krystalu vzniká náboj)
- Rezonanční (rezonanční frekvence prvku na membráně se mění s průhybem)
- Optické (deformace optického vlákna mění výstupní optický výkon)
- Snímače s mechanickým deformačním členem (převod tlaku na polohu membrány a snímání polohy membrány snímačem polohy).

Můstkový manometr SPD005G

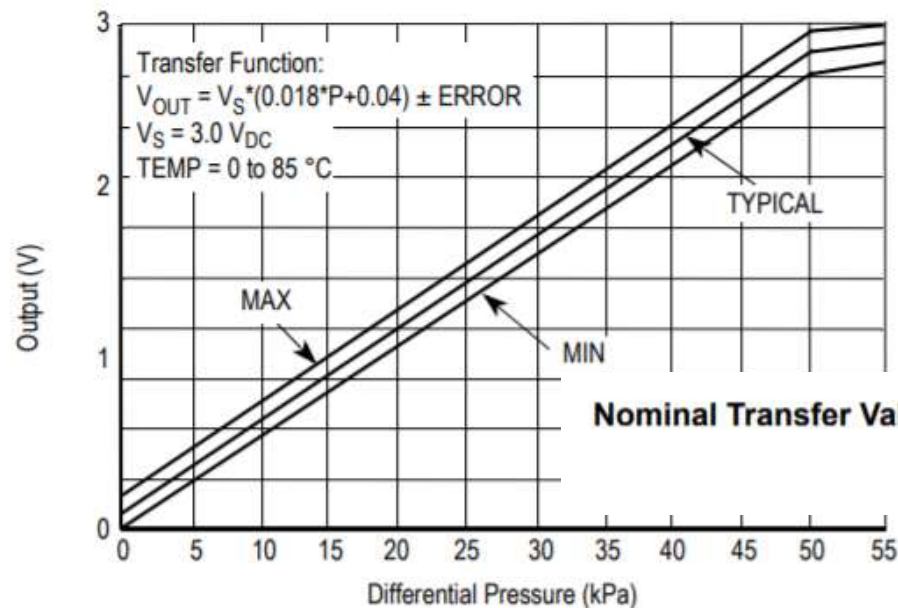
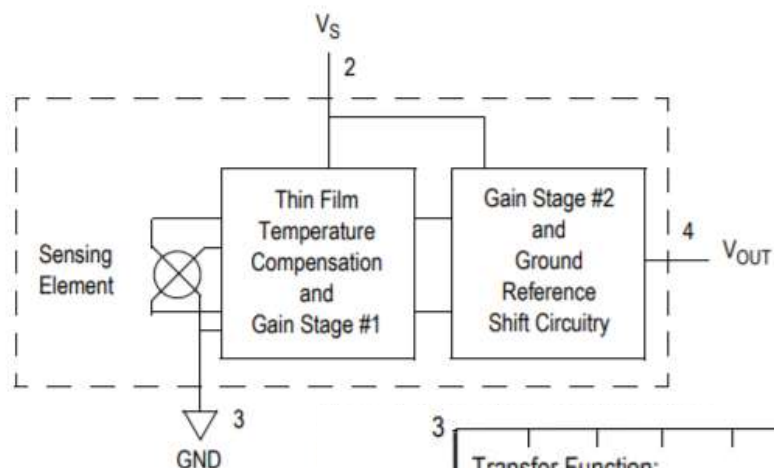


Rozsah 0 – 35 kPa., 0 – 60 mV.



IC1A a IC1B jsou zapojeny jako zesilovače s vysokou impedancí, IC1C má zesílení asi 137.

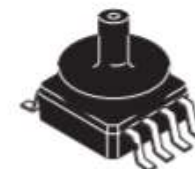
Tlakový snímač MP3V5050



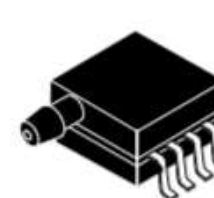
Application examples

- Pump/motor control
- Robotics
- Level detectors
- Medical diagnostics
- Pressure switching
- Blood pressure measurement

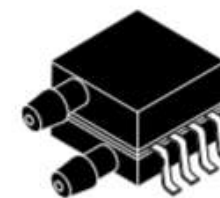
Small outline package



MP3V5050GC6U/6T1
Case 98ASB17757C

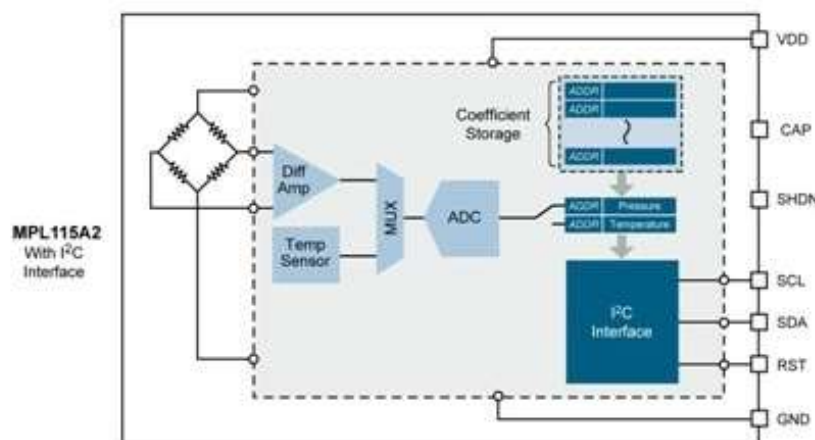
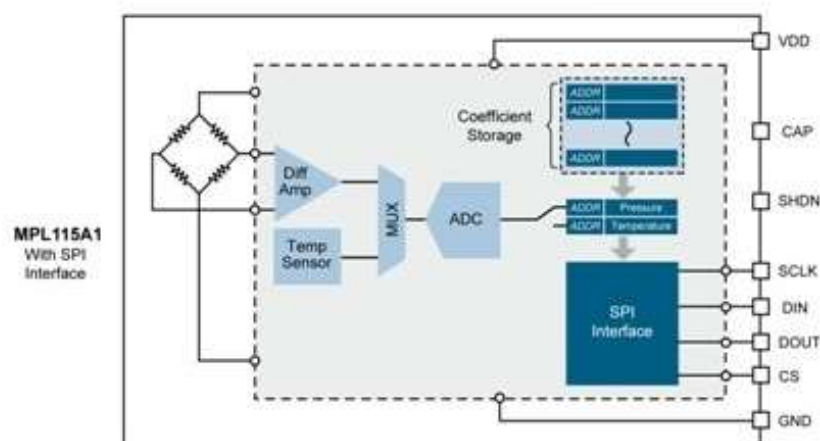


MP3V5050GP
Case 98ASA99303D



MP3V5050DP
Case 98ASA99255D

Tlakový snímač MPL115A - barometr



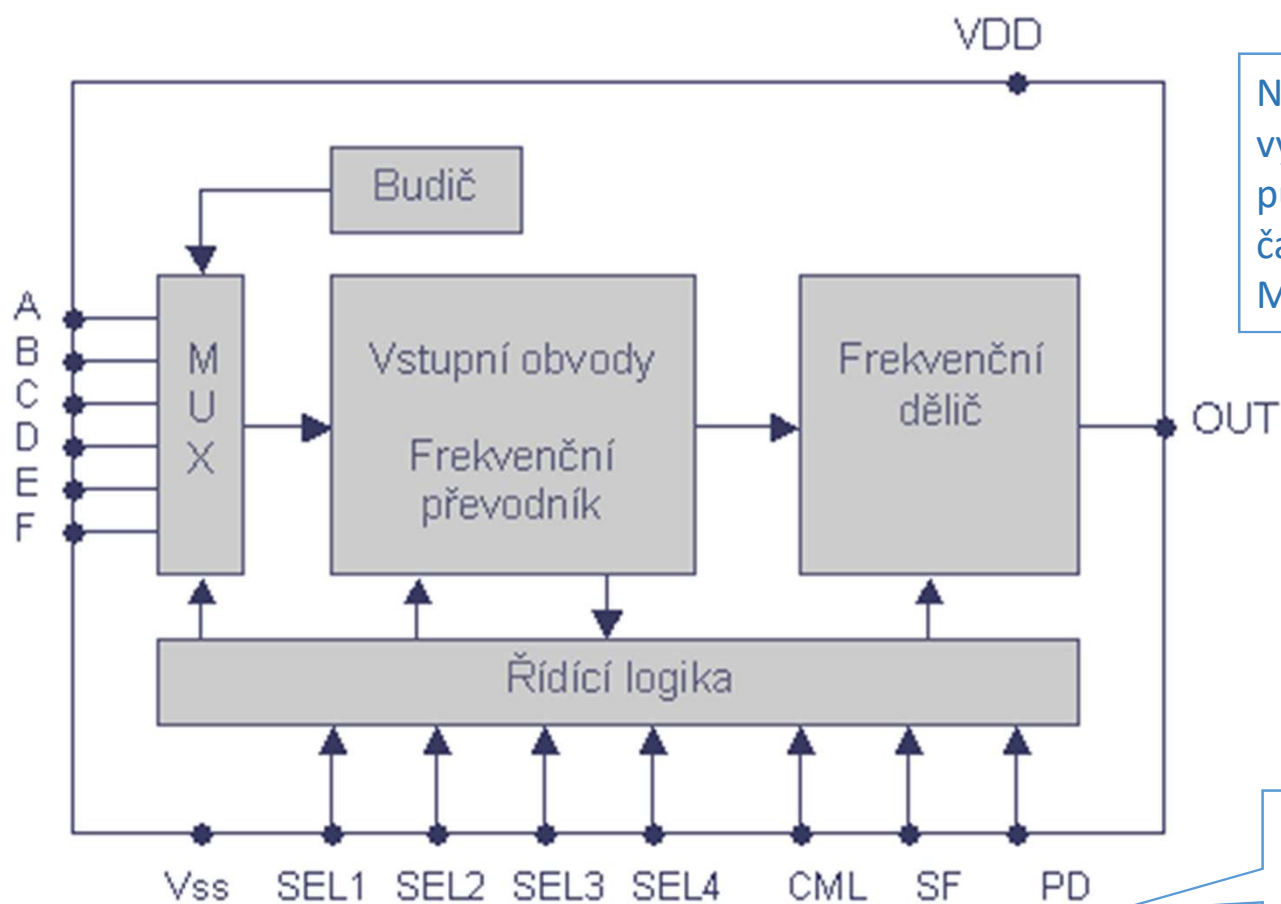
- Digitized pressure and temperature information together with programmed calibration coefficients for host micro use
- Factory calibrated
- 50 kPa to 115 kPa absolute pressure
- 1 kPa accuracy
- 2.375 to 5.5-volt supply
- Integrated ADC
- SPI or I²C Interface

Applications:

- Barometry (portable and desktop)
- Altimeters
- Weather stations
- Hard-disk drives (HDD)
- Industrial equipment
- Health monitoring
- Air control systems

Univerzální interface pro senzory UTI03

Univerzální vstupy, kam lze připojit senzory kapacitní, odporové, s můstkem nebo potenciometry.

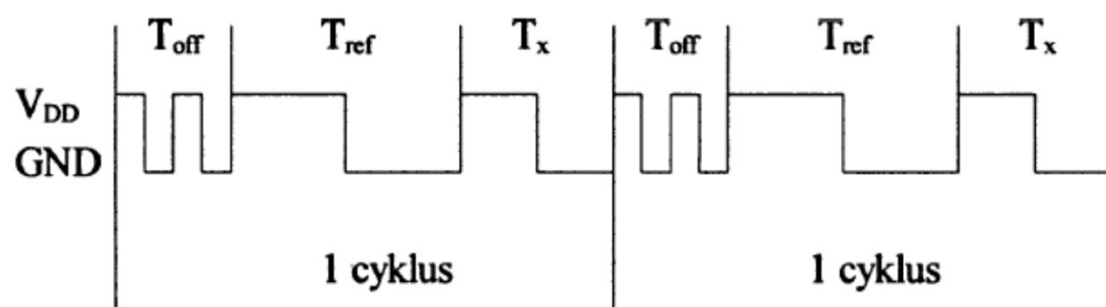


Naměřená hodnota je na výstupu ve formě délky pulsu – lze snímat časovačem. Měření je třífázové.

Nastavení režimu (15 režimů)

Univerzální interface pro senzory UTI03

Výstup je generován vždy v cyklu, který obsahuje alespoň 3 hodnoty:



T_{off} je posuv nuly (offset),
 T_{ref} je odezva na referenční veličinu,
 T_x je odezva na měřenou veličinu.

Výsledná hodnota $M = (T_x - T_{off}) / (T_{ref} - T_{off})$

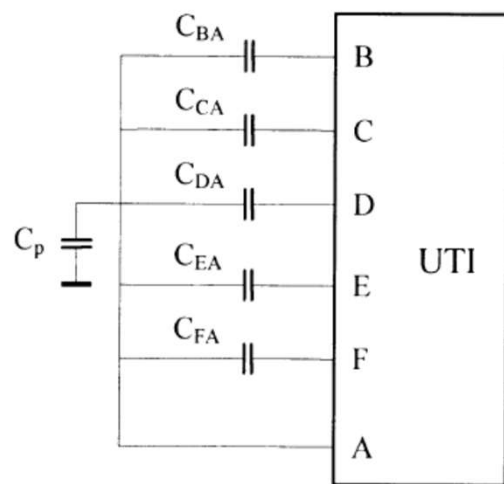
- takovou kalibrací v každém cyklu se vyloučí
vliv offsetu a zisku systému.

(za předpokladu, že se systém chová lineárně, stačí znát offset a zisk, což změříme pomocí T_{off} a T_{ref}
– tím zjistíme parametry přenosové funkce)

Režimy činnosti UTI03

SEL1	SEL2	SEL3	SEL4	Mód činnosti	Počet fází	Název	Číslo módu
0	0	0	0	5 kondenzátorů s kapacitou 0-2 pF	5	C25	0
0	0	0	1	3 kondenzátory s kapacitou 0- 2 pF	3	C23	1
0	0	1	0	5 kondenzátorů s kapacitou 0-12 pF	5	C12	2
0	0	1	1	Kondenzátory 0-2 pF, vnější MUX CML=0 Kondenzátory 0-12 pF, vnější MUX CML=1	-	CMUX	3
0	1	0	0	3 kondenzátory, proměnný rozsah do 300 pF	3	C300	4
0	1	0	1	Odporový teploměr Pt100-Pt1000, 4 vodiče	4	Pt	5
0	1	1	0	Termistor 1 k Ω -25 k Ω , připojení 4 vodiče	4	Ther	6
0	1	1	1	2 nebo 3 platinové teploměry Pt100-Pt1000	5	Pt2	7
1	0	0	0	2 nebo 3 termistory, 1k Ω -25 k Ω ,	5	Ther2	8
1	0	0	1	Odporový můstek, ref. je V_{bridge} , +/- 200 mV	3	Ub2	9
1	0	1	0	Odporový můstek, ref. je V_{bridge} , +/- 12,5 mV	3	Ub1	10
1	0	1	1	Odporový můstek, ref. je I_{bridge} , +/- 200 mV	3	Ib2	11
1	1	0	0	Odporový můstek, ref. je I_{bridge} , +/- 12,5 mV	3	Ib1	12
1	1	0	1	Odp. můstek a dva odpory, +/- 200 mV	5	Brg2	13
1	1	1	0	Odp. můstek a dva odpory, +/- 12,5 mV	5	Brg1	14
1	1	1	1	3 potenciometry 1 k Ω -50 k Ω	5	Potm	15

Režim 0 – měření kapacity 5 kondenzátorů



Obr. 6. Připojení kondenzátorů k UTI

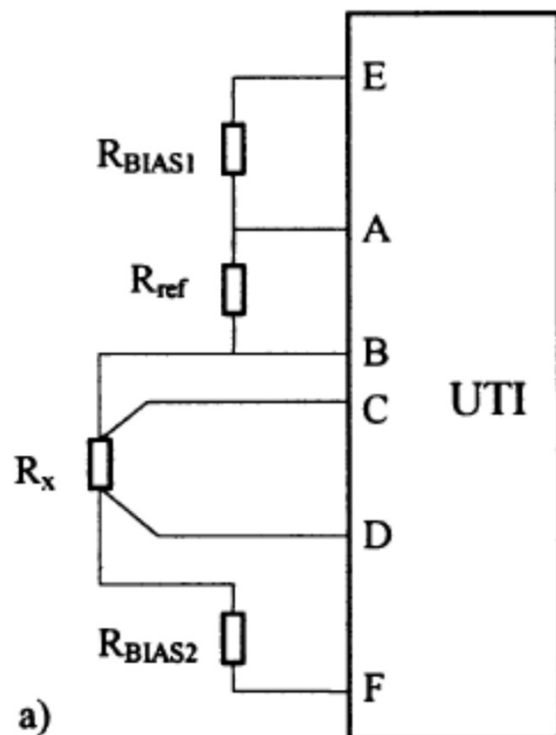
Fáze	Měřené kondenzátory	Perioda výstupního signálu
1	$C_{BA} + C_0$	$T_{BA} = NK_1 (C_{BA} + C_0)$
2	$C_{CA} + C_0$	$T_{CA} = NK_1 (C_{CA} + C_0)$
3	$C_{DA} + C_0$	$T_{DA} = NK_1 (C_{DA} + C_0)$
4	$C_{EA} + C_0$	$T_{EA} = NK_1 (C_{EA} + C_0)$
5	$C_{FA} + C_0$	$T_{FA} = NK_1 (C_{FA} + C_0)$

Tab. 5 Kondenzátory měřené v jednotlivých fázích.

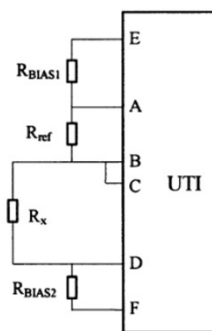
Parametr	Typická hodnota
K_1	10 ms/pF
C_0	2 pF
Maximální kapacita C_{ia}	2 pF
Linearita	13 bitů
Rozlišení (SF = 0, $C_p = 30$ pF)	14 bitů
Ofset (počáteční kapacita)	$< 15 \times 10^{-3}$ pF

Tab. 6. Charakteristické údaje pro módy C25 a C23

Režim 5 – teplotní senzor Pt100



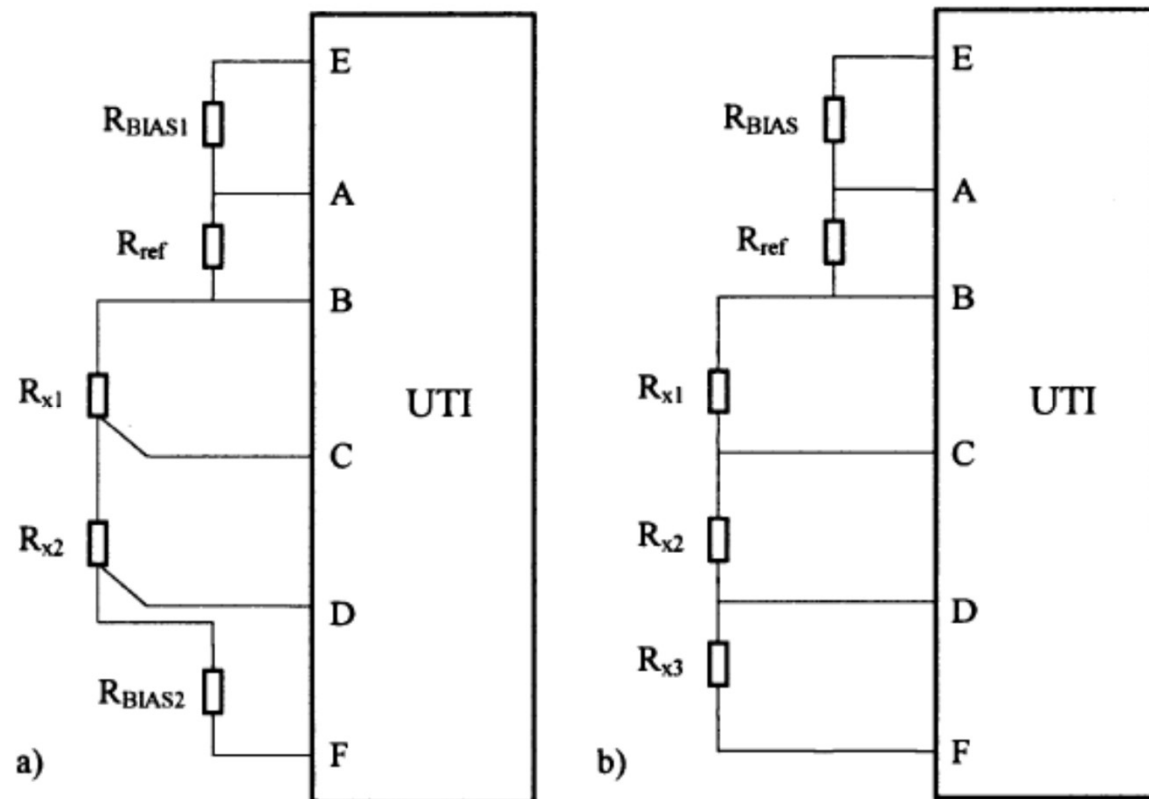
Fáze	Měřená napětí	Periody výstupního sigálu
1	V_0	$T_{off} = NK_2 V_0$
2	$V_{AB} + V_0$	$T_{AB} = NK_2 (V_{AB} + V_0)$
3	$V_{CD} + V_0$	$T_{CD} = NK_2 (V_{CD} + V_0)$
4	$V_{BC} + V_0$	$T_{BC} = NK_2 (V_{BC} + V_0)$



$$M_{2-,4-wire} = \frac{T_{phase3} - T_{phase1}}{T_{phase2} - T_{phase1}} = \frac{R_x}{R_{ref}}$$

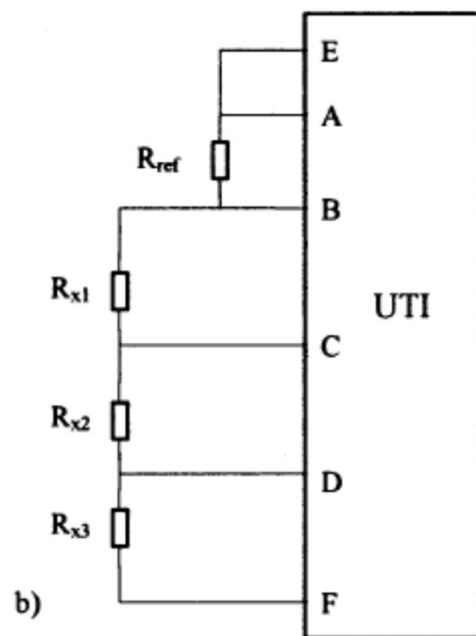
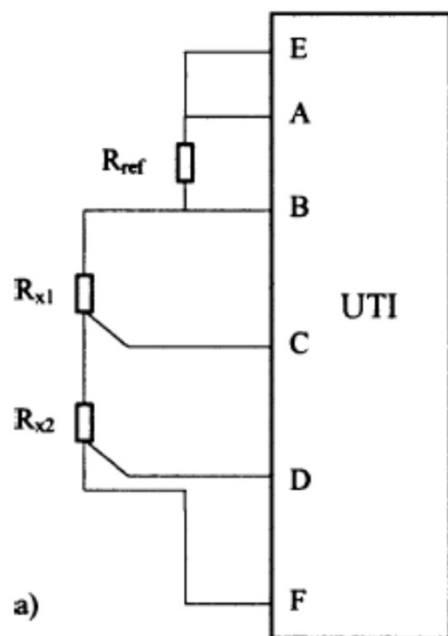
Alternativně lze i dvou vodičové připojení.

Režim 7 – dva nebo tři Pt100



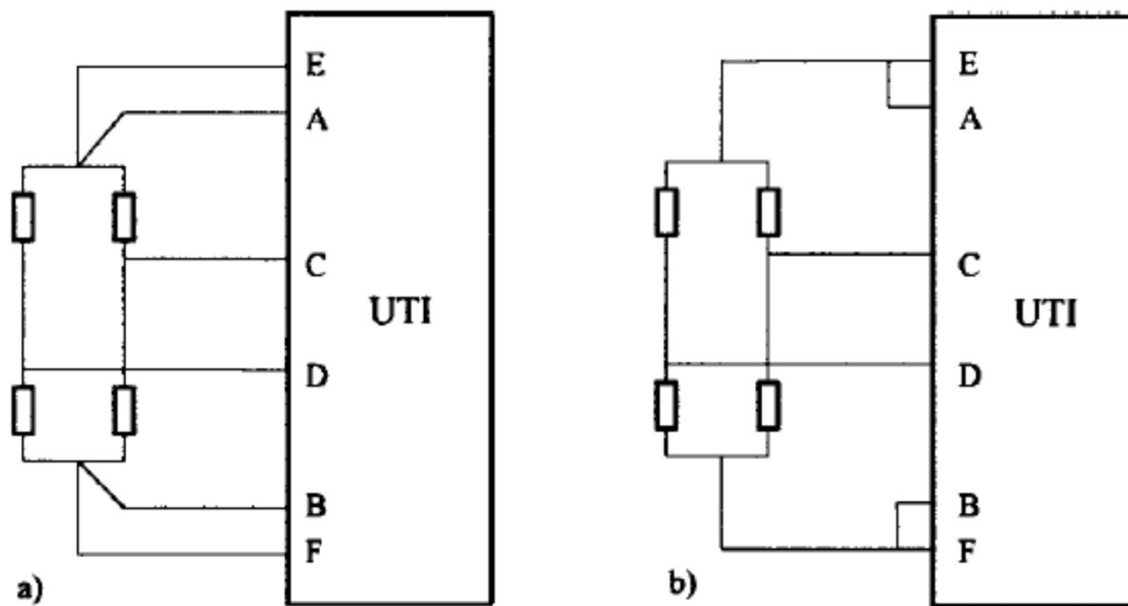
Fáze	Měřená napětí	Periody výstupního signálu
1	V_0	$T_{off} = NK_2 V_0$
2	$V_{AB} + V_0$	$T_{AB} = NK_2 (V_{AB} + V_0)$
3	$V_{CD} + V_0$	$T_{CD} = NK_2 (V_{CD} + V_0)$
4	$V_{BC} + V_0$	$T_{BC} = NK_2 (V_{BC} + V_0)$
5	$V_{DF} + V_0$	$T_{DF} = NK_2 (V_{DF} + V_0)$

Mód 8 – dva nebo tři termistory



Fáze	Měřená napětí	Periody výstupního signálu
1	V_0	$T_{off} = NK_2 V_0$
2	$V_{AB} + V_0$	$T_{AB} = NK_2 (V_{AB} + V_0)$
3	$V_{CD} + V_0$	$T_{CD} = NK_2 (V_{CD} + V_0)$
4	$V_{BC} + V_0$	$T_{BC} = NK_2 (V_{BC} + V_0)$
5	$V_{DF} + V_0$	$T_{DF} = NK_2 (V_{DF} + V_0)$

Mód 9 - můstek



Fáze	Měřená napětí	Periody výstupního signálu
1	V_0	$T_{off} = NK_2 V_0$
2	$V_{AB}/32 + V_0$	$T_{AB} = NK_2 (V_{AB}/32 + V_0)$
3	$V_{CD} + V_0$	$T_{CD} = NK_2 (V_{CD} + V_0)$

Tab. 16. Napětí měřená v jednotlivých fázích – mód Ub2

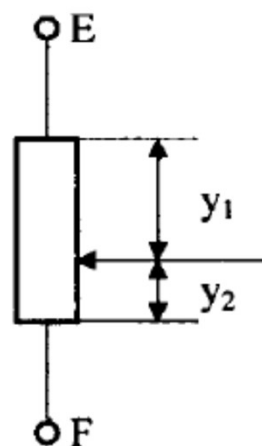
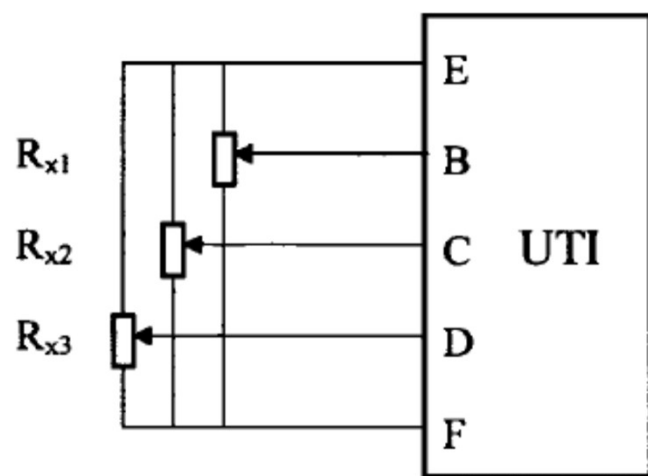
Mikrokontrolér vypočítává nerovnováhu ze vztahu:

$$M = \frac{1}{32} \frac{T_{phase3} - T_{phase4}}{T_{phase2} - T_{phase4}} = \frac{V_{CD}}{V_{AB}} \quad (6)$$

Parametr	Typická hodnota
K_2	56 $\mu\text{s}/\text{V}$
V_0	0,54 V
Napájení můstku	AC V_{DD}
Budící proud z E a F	20 mA
Můstkový odpor R_b	$250 \Omega < R_b < 10 \text{ k}\Omega$
Výstupní napětí můstku	max $\pm 0.2\text{V}$
Přesnost	11 bits
Offset	10 μV
Rozlišení (SF = 0)	7 μV

Tab. 17. Základní údaje pro mód Ub2

Režim 15 – tři potenciometry



Fáze	Měřená napětí	Perioda výstupního signálu
1	V_0	$T_{off} = NK_2 V_0$
2	$V_{EF} + V_0$	$T_{EF} = NK_2 (V_{EF} + V_0)$
3	$V_{CF} + V_0$	$T_{CF} = NK_2 (V_{CF} + V_0)$
4	$V_{BF} + V_0$	$T_{BF} = NK_2 (V_{BF} + V_0)$
5	$V_{DF} + V_0$	$T_{DF} = NK_2 (V_{DF} + V_0)$

Tabulka 28. Napětí měřená v jednotlivých fázích v režimu měření s potenciometry

Relativní poloha jezdce potenciometru se určí ze vztahu:

$$M = \frac{T_{phase3,4,5} - T_{phase1}}{T_{phase2} - T_{phase1}} = \frac{y_2}{y_1 + y_2} \quad (9)$$

Parametr	Typická hodnota
K_2	4 $\mu\text{s/V}$
V_0	5 V
Odpor potenciometru R_{xi}	1 k Ω < R_{xi} < 25 k Ω
Přesnost	10 ⁻³
Rozlišení (SF = 0)	14 bitů

Tab. 29 Parametry módu Potm