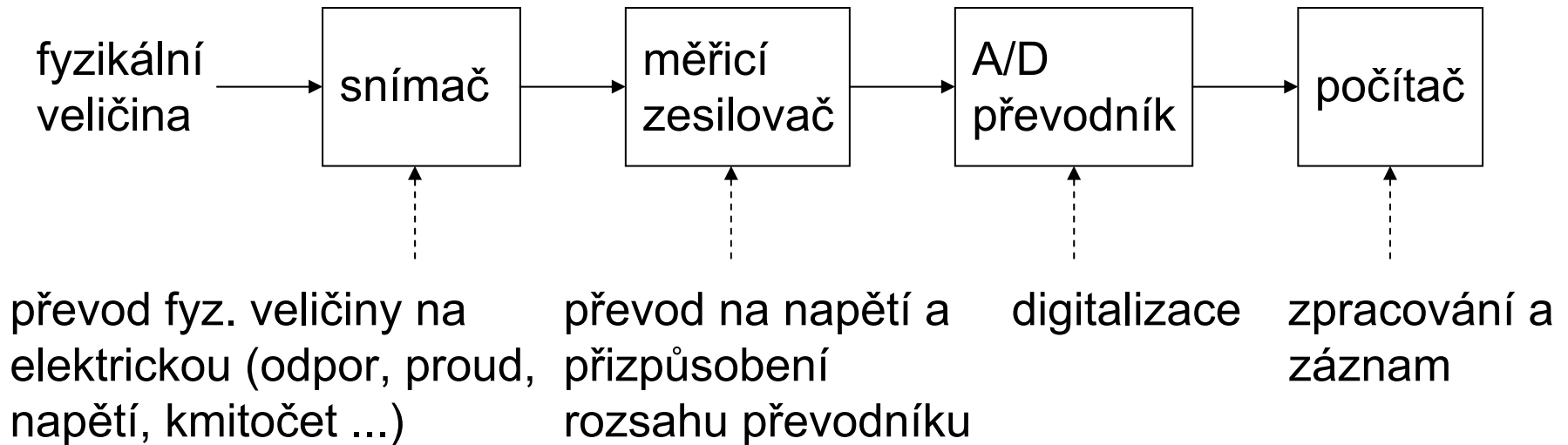
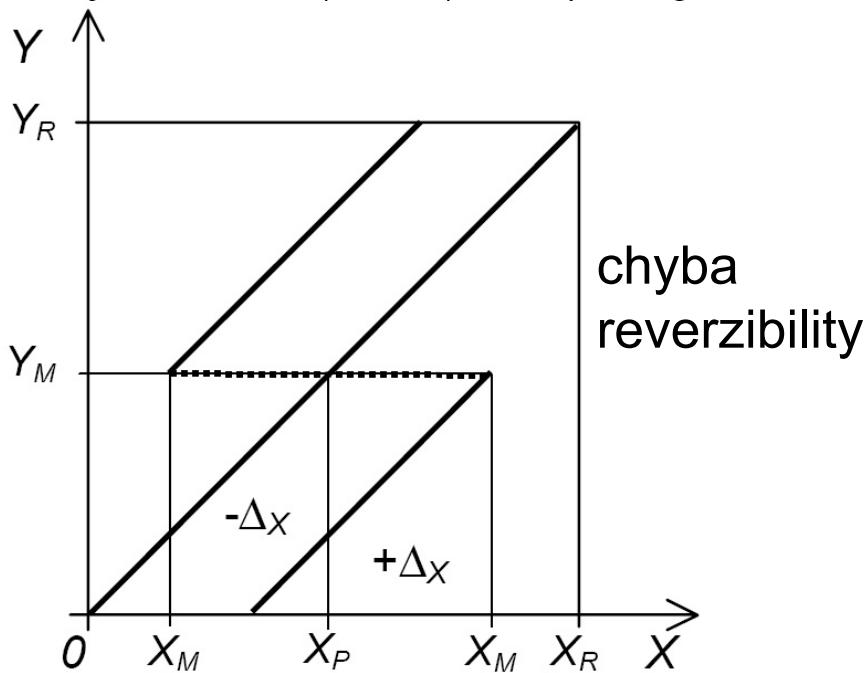
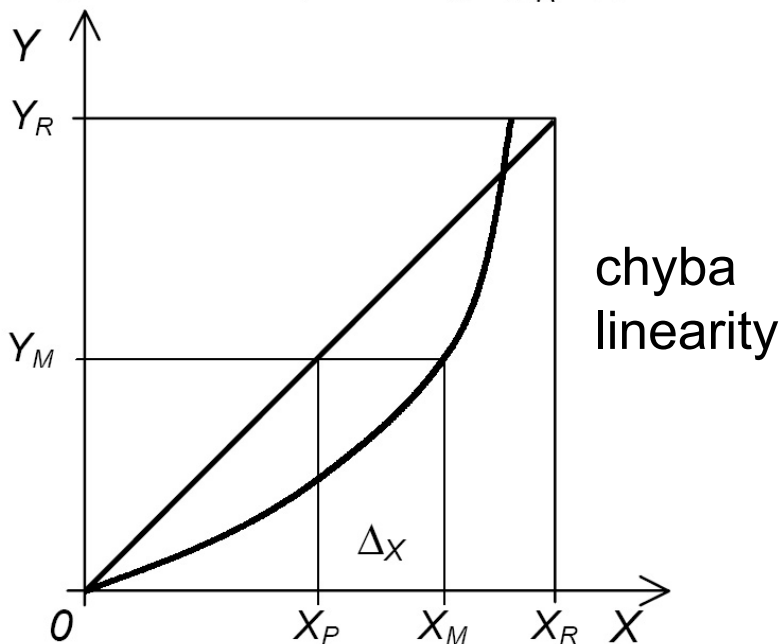
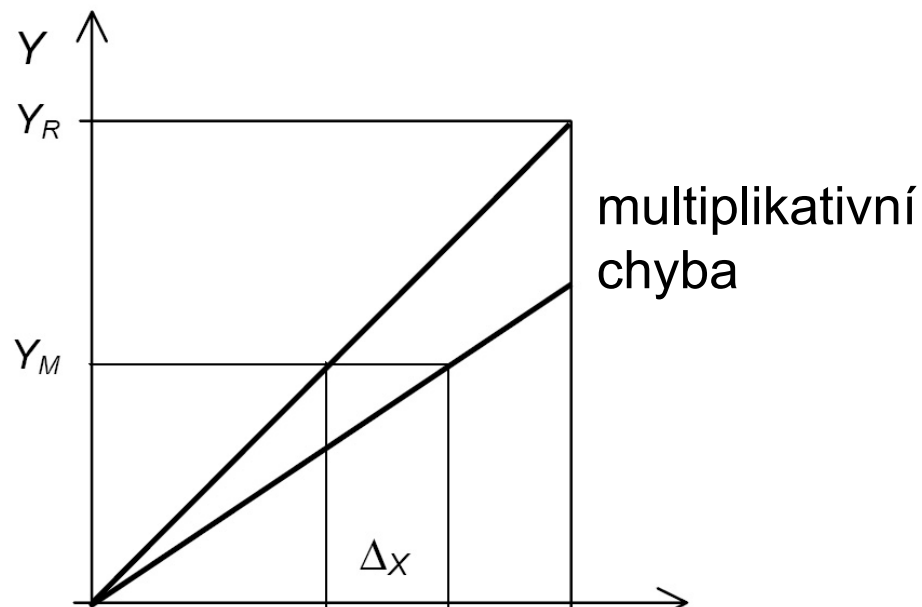
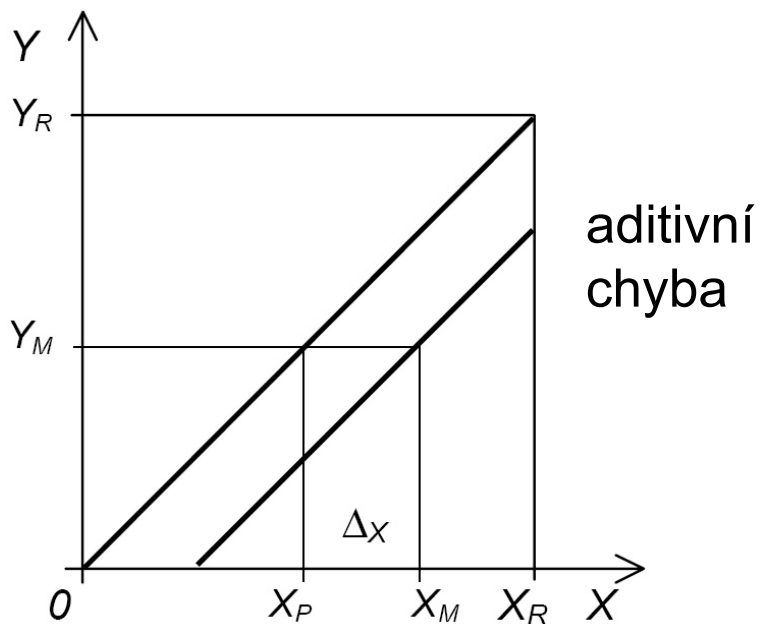


Měřicí řetězec



Měření čehokoliv se dnes téměř vždy děje elektricky, převodem fyzikální veličiny na elektrickou, obvykle pak převodem do digitální podoby a zpracováním počítačem.

Druhy chyb měření



Základní pojmy v měření

Absolutní chyba – odchylka naměřené hodnoty od skutečné. Skutečnou hodnotu neznáme, absolutní chybu lze jen odhadnout.

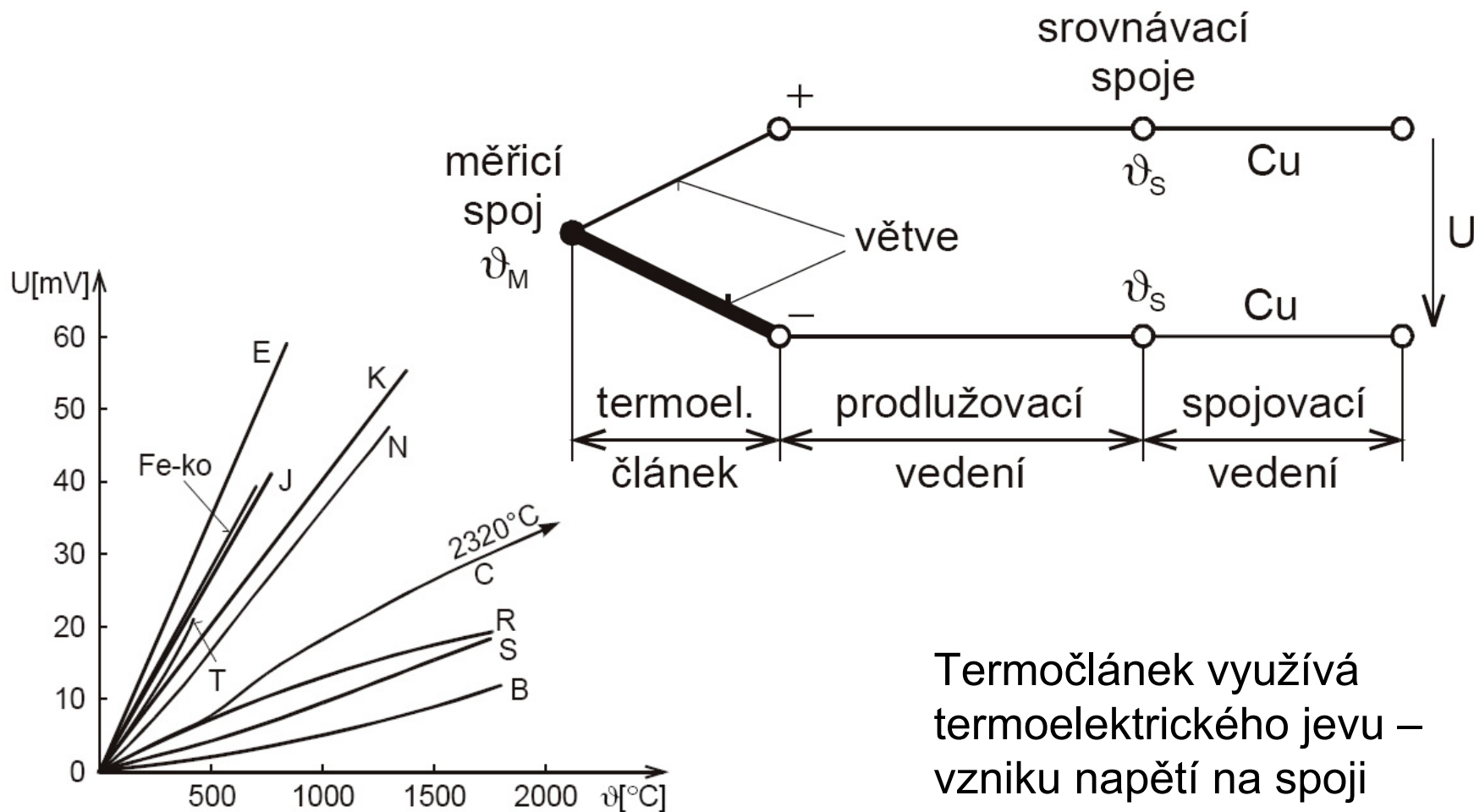
Relativní chyba – udává se v %, ppm, ap., určuje odchylku od skutečné hodnoty v poměru k naměřené hodnotě.

Přesnost (precision) – součet všech možných chyb metody, přístroje. Udává o kolik se nejvýše může lišit naměřená hodnota od skutečné.

Rozlišení (resolution) – velikost změny měřené veličiny, kterou je snímač (přístroj) schopen zaregistrovat. Nemá nic společného s přesností!

Reprodukovatelnost (reproducibility) – vypovídá o shodě výsledků měření veličiny za různých podmínek a s různým časovým odstupem

Termočlánek – snímač s napět'ovým výstupem

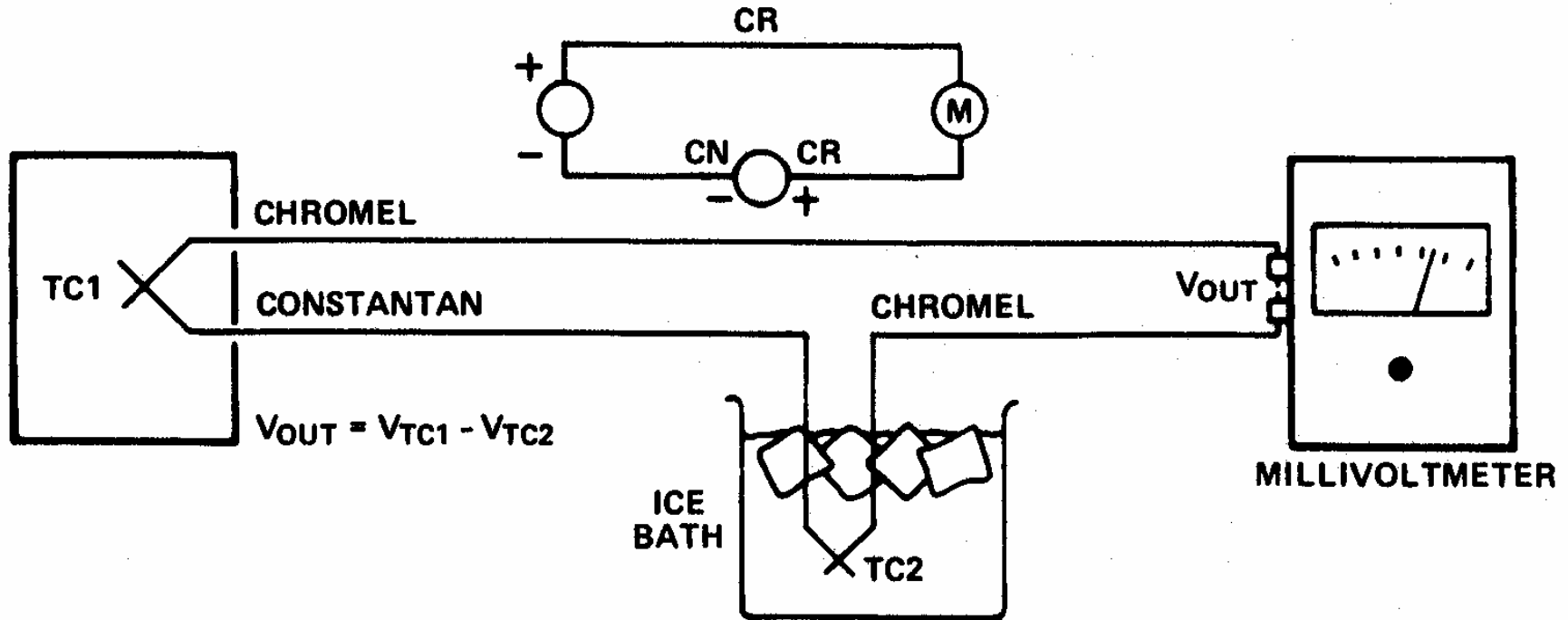


Termočlánek využívá termoelektrického jevu – vzniku napětí na spoji dvou kovů, závislého na teplotě. Používají se k měření teplot ve velkém rozsahu.

Statické charakteristiky některých termoelektrických článků

E: NiCr-Ni	N: NiCrSi-NiSi
Fe-ko	C: WRe5-WRe26
J: Fe-CuNi	R: PtRh13-Pt
T: Cu-CuNi	S: PtRh10-Pt
K: NiCr-NiAl	B: PtRh30-PtRh6

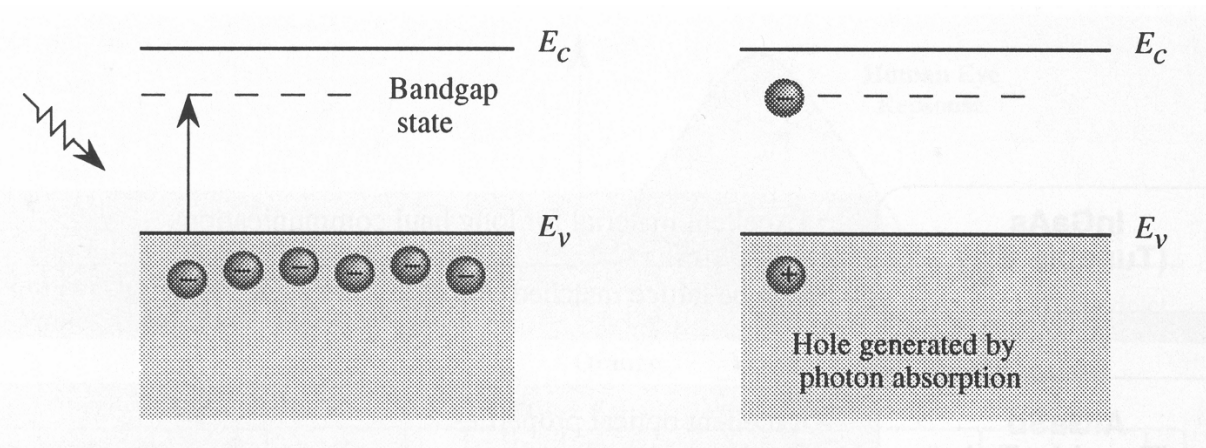
Měření teploty termočlánkem



Napětí z termočlánku je malé (řádově milivolty), ale „tvrdé“. Pro měření je nutné jej zesílit, zesilovač nemusí mít velký vstupní odpor.

Specifické pro termočlánek je, že spoje různých kovů musí být vždy minimálně 2, napětí je úměrné rozdílu teplot spojů – měřicího a referenčního. Referenční spoj musí být termostatizován na nulové teplotě, nebo jeho teplota nezávisle měřena a přičtena k měření.

Fotodioda – snímač s proudovým výstupem



Fotodioda převádí světlo na fotoproud. Dopad fotonu na P-N polovodičový přechod vytvoří pár elektron-díra, tj. závěrný proud diodou.

$$I_{\text{fot}} = (1-R) \cdot P \cdot e \cdot \eta$$

kde:

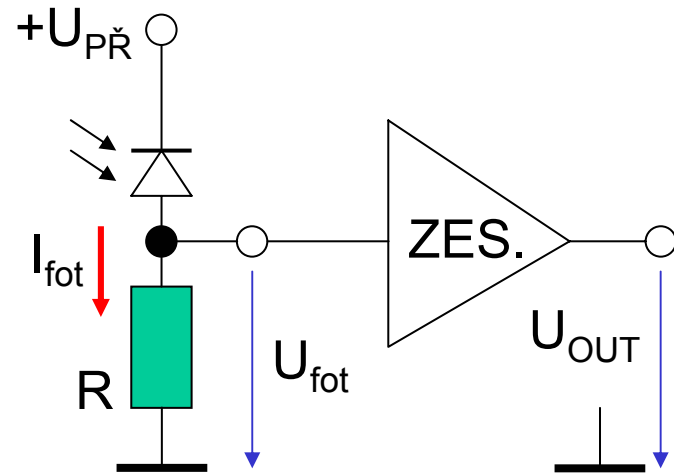
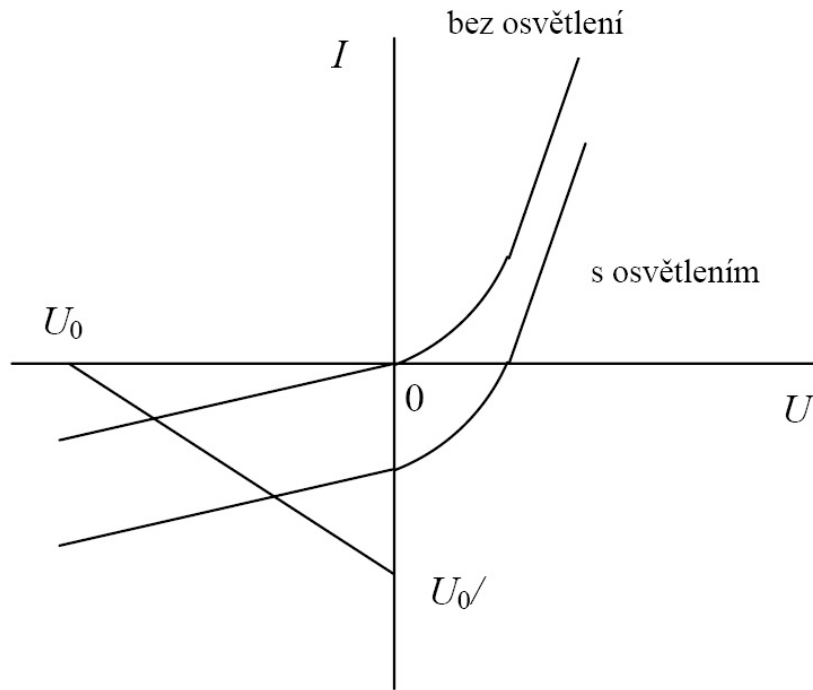
R ... odrazivost povrchu fotodiody

P ... dopadající optický výkon

e ... jednotkový elektrický náboj (elektronu)

η ... kvantová účinnost fotodiody (pravděpodobnost, s níž po dopadu fotonu vznikne pár elektron – díra

Odpor – nejjednodušší převodník proud -napětí

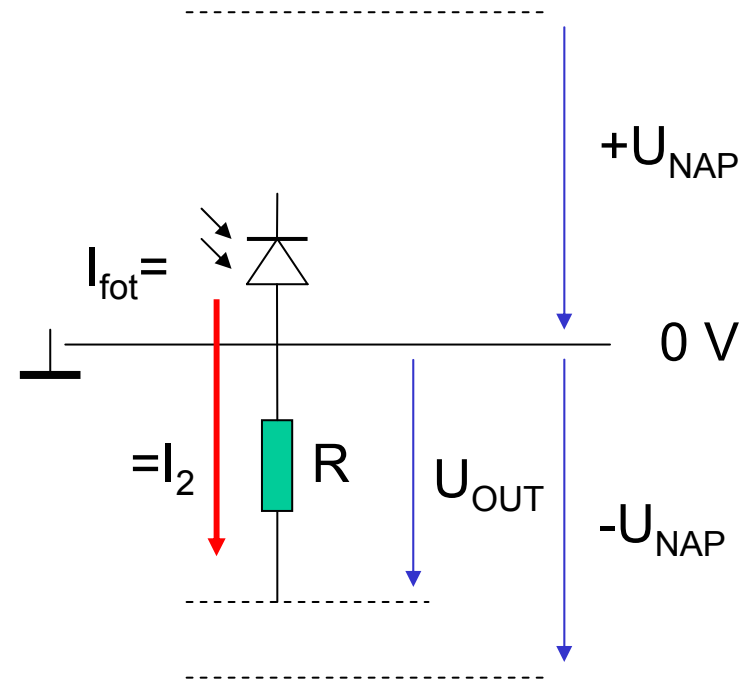
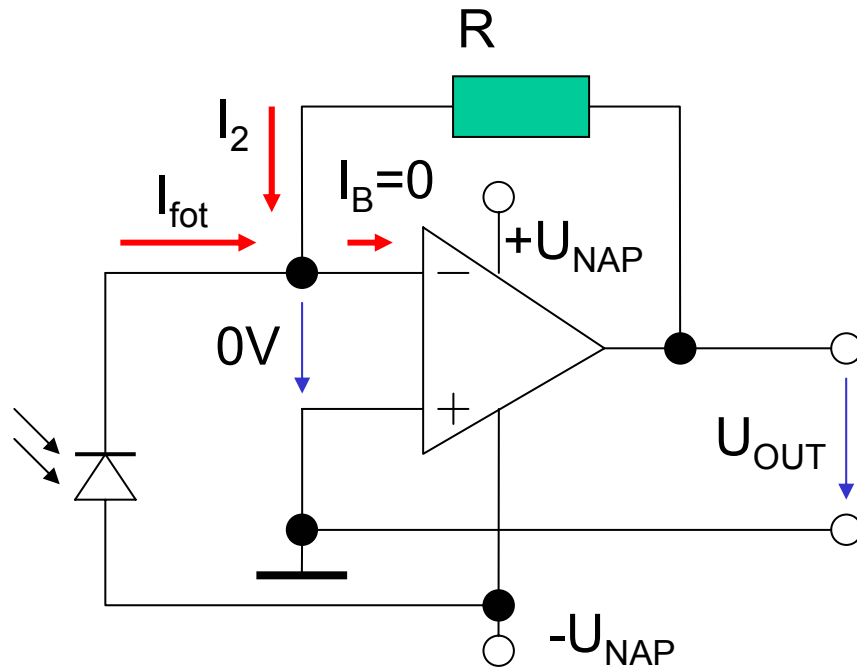


Fotodioda polarizovaná v závěrném směru vykazuje malý, závěrný proud. Tento proud bez osvětlení se nazývá „temný proud“.

Osvětlená fotodioda vykazuje zvýšený závěrný proud závislý lineárně na osvětlení. Fotodioda se chová jako zdroj proudu. Proud, protékající odporem se převádí na napětí: $U_{fot} = I_{fot} \cdot R$

Nevýhody: vstupní odpor zesilovače hraje roli (zatížený dělič); mění se napětí na fotodiodě.

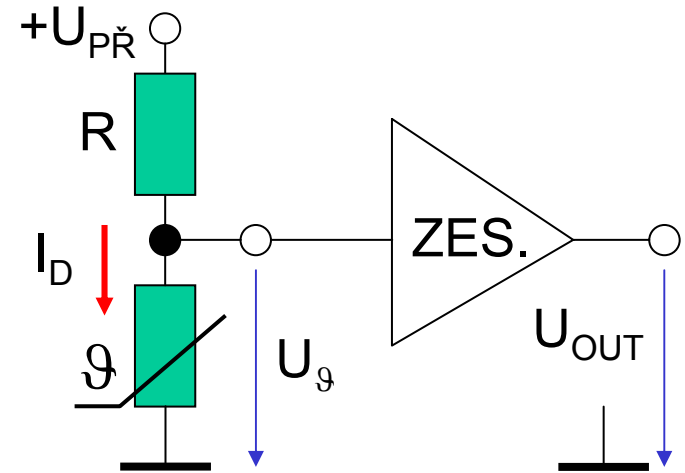
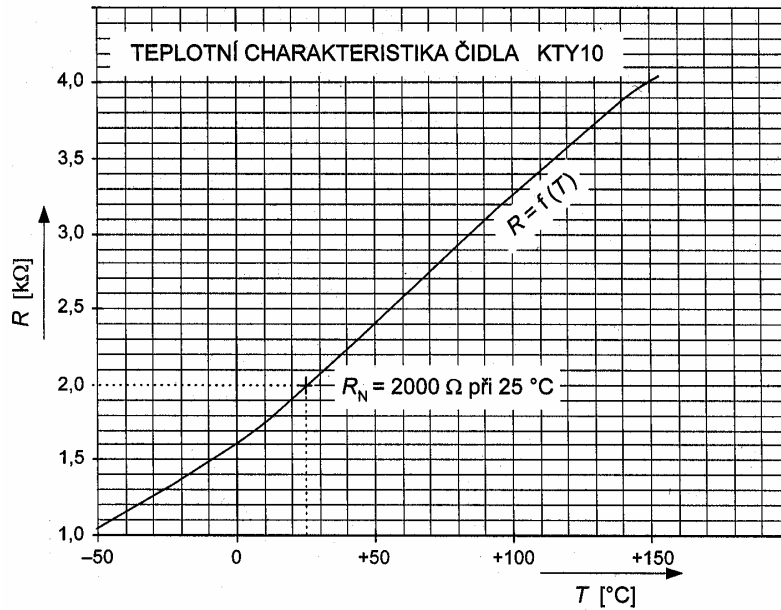
Převodník proud – napětí s OZ



Převodník proud – napětí je obdobný invertujícímu zapojení OZ, místo vstupního odporu převádějícího vstupní napětí na proud je zde přímo zdroj proudu – fotodioda. Převod je stejný: $U_{OUT} = I_{fot} \cdot R$

Výhody: napětí na fotodiodě je stále stejné; vstupní proud OZ, I_B je prakticky nulový a nevnáší do měření chybu.

Termistor – příklad odporového snímače



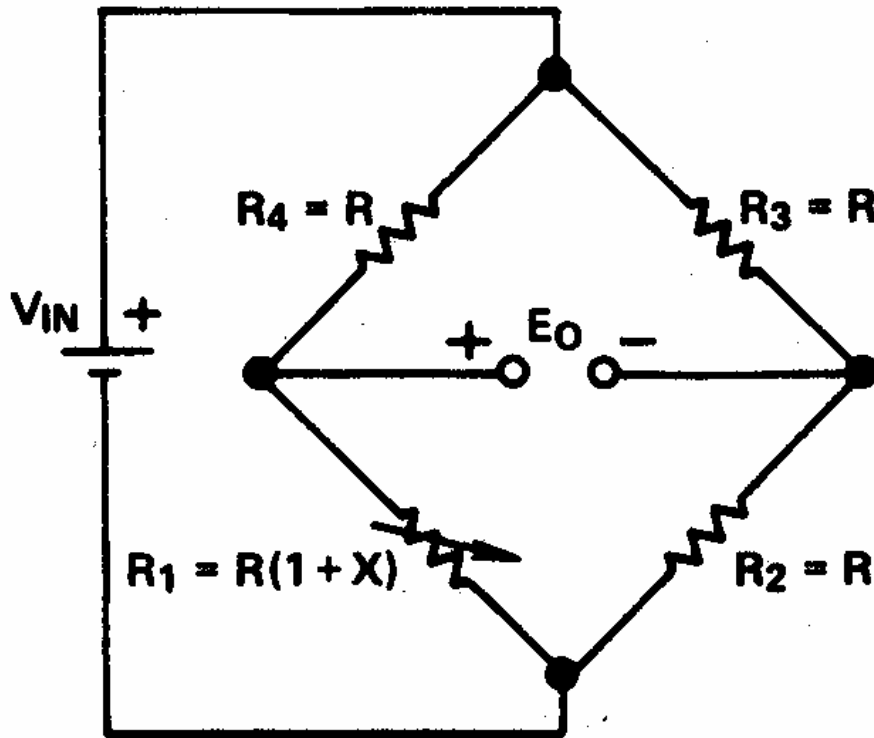
Polovodičový termistor má velkou závislost odporu na teplotě, je nelineární, je vhodný pro teplotní rozsah od cca -50° do +150°C.

Nejjednodušším zapojením je umístění termistoru do odporového děliče a připojením zesilovače do výstupu děliče.

$$U_{\theta} = U_{PŘ} \cdot R_{\theta} / (R + R_{\theta})$$

Nevýhody: změna napájecího napětí se projeví jako aditivní i multiplikativní chyba (má vliv na strmost převodní křivky R - U a současně přímo způsobí změnu napětí U_{θ}).

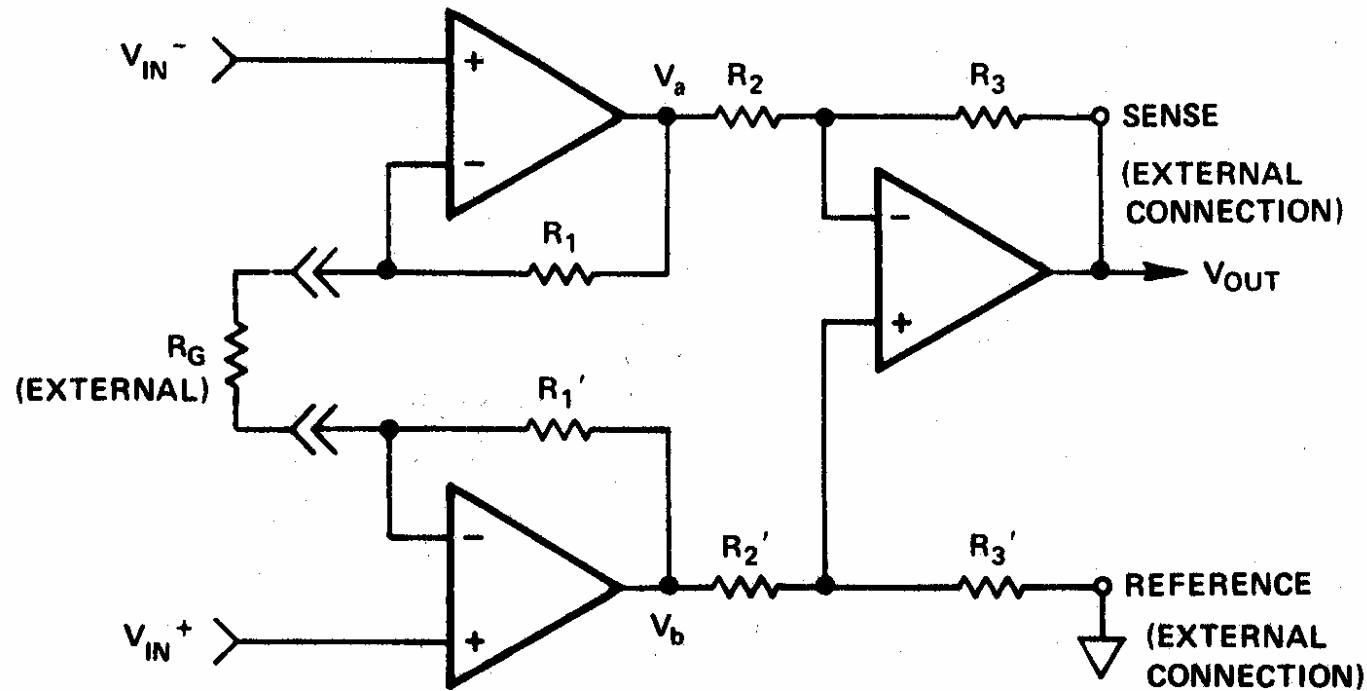
Můstkové zapojení



$$\begin{aligned} E_0 &= \frac{R(1+X)}{R+R(1+X)} V_{IN} - \frac{1}{2} V_{IN} \\ &= \frac{2+2X-2-X}{2(2+X)} V_{IN} \\ &= \frac{V_{IN}}{4} \cdot \frac{X}{1+\frac{X}{2}} \\ &\cong \frac{V_{IN}}{4} X \text{ FOR } X \ll 1 \end{aligned}$$

Vliv kolísání napájecího napětí na měřenou hodnotu zmírní můstkové zapojení. Odstraní vliv aditivní chyby tím, že vyvážený můstek ($E_0 = 0V$) zůstane vyvážený i při změně napájecího napětí.

Přístrojový OZ



Přístrojový OZ je zapojení tří OZ které je diferenční, ale má velký vstupní odpor. Zesílení se nastavuje jedním odporem R_G . Přístrojové OZ se vyrábí jako samostatné součástky.

$$V_{OUT} = ((+V_{IN}) - (-V_{IN})) (2R_1/R_G + 1) (R_3/R_2)$$

where $R_1 = R_1'$, $R_2 = R_2'$, and $R_3 = R_3'$

Přístrojový OZ je řešením, jak měřit napětí na můstku – diferenční napětí mezi větvemi můstku, aniž by se můstek zatěžoval.

Další příklad odporového snímače – tenzometr

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

kde ρ je měrný odpor

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} (1 + 2\mu_p) \approx \frac{\Delta l}{l} (1 + \beta_\rho + 2\mu_p) = K \frac{\Delta l}{l}$$

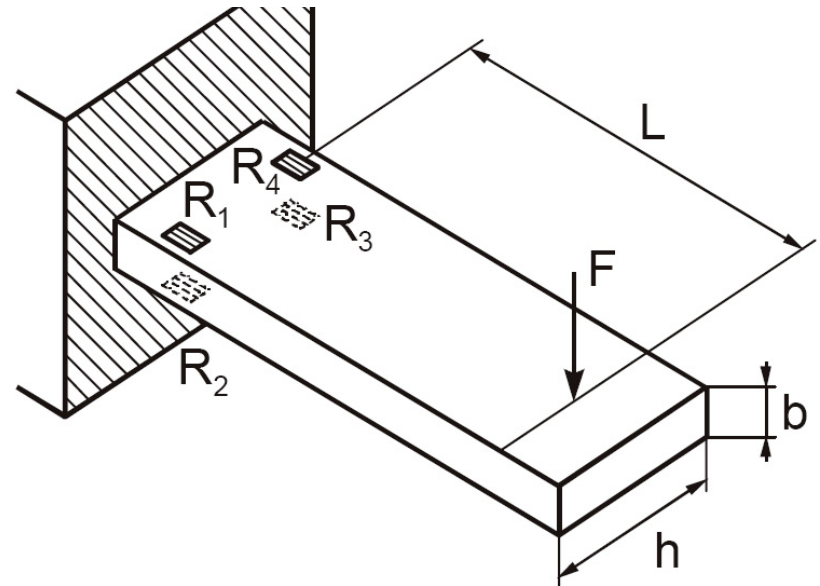
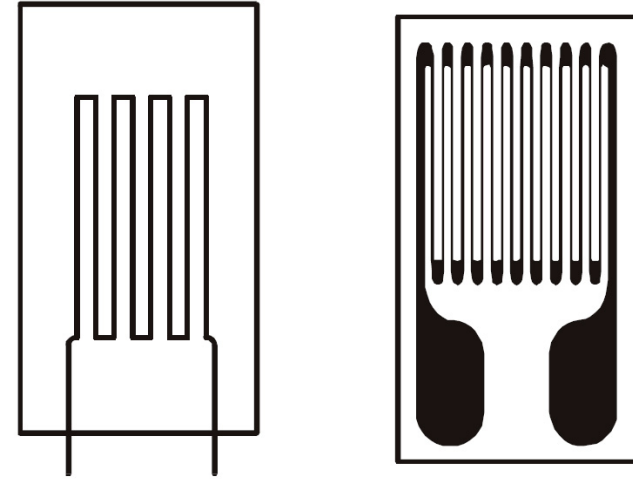
kde μ_p je součinitel příčného stlačení (Poissonovo číslo)

β_ρ je součinitel úměrnosti

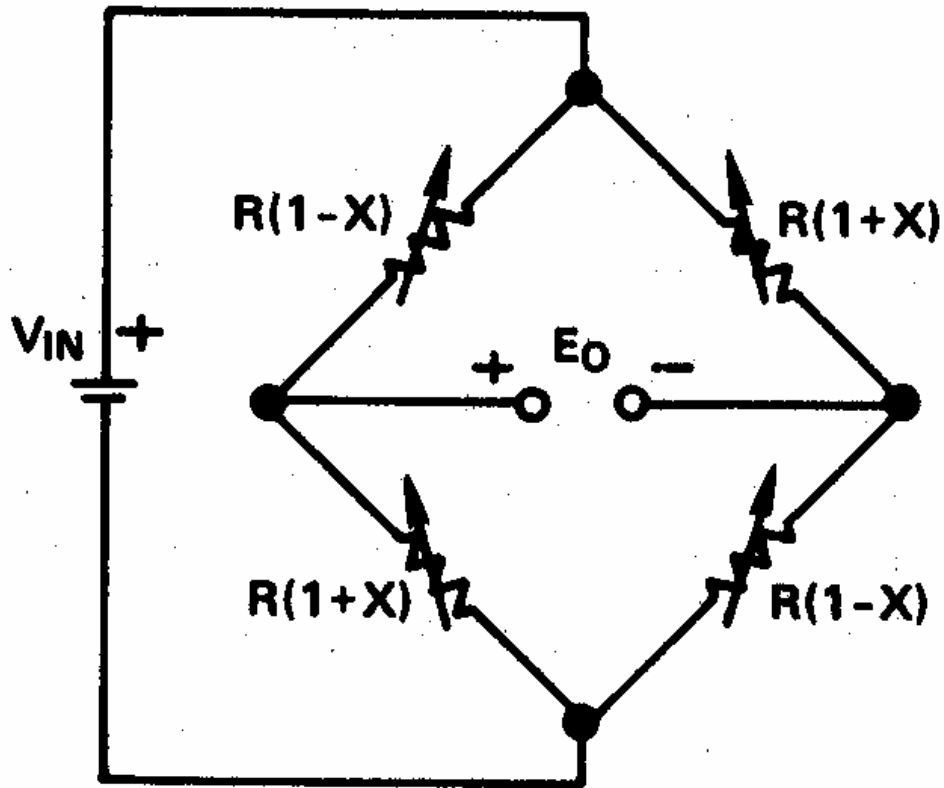
K je součinitel deformační citlivosti

Tenzometr využívá změny odporu, změní-li se tloušťka a délka drátu jeho natažením. Měří mechanickou deformaci, nebo nepřímo sílu.

Na deformačním členu (konzole) se obvykle používají 4 tenzometry, dva se natahují, dva stlačují.



Tenzometrický můstek se 4 snímači

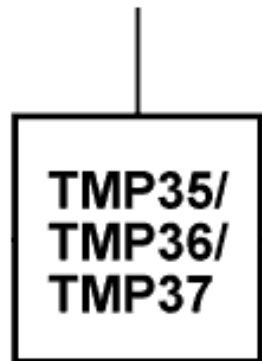


$$\begin{aligned} E_O &= \left[\frac{R(1+X)}{2R} - \frac{R(1-X)}{2R} \right] V_{IN} \\ &= \left[\frac{1+X-1+X}{2} \right] V_{IN} \\ &= X V_{IN} \end{aligned}$$

Odporový můstek ze čtyř tenzometrů, z nichž u dvou odpor roste s ohybem nosníku a u dvou klesá je ideálním využitím odporového můstku. Zde parazitní teplotní změny odporů se navíc vzájemně kompenzují.

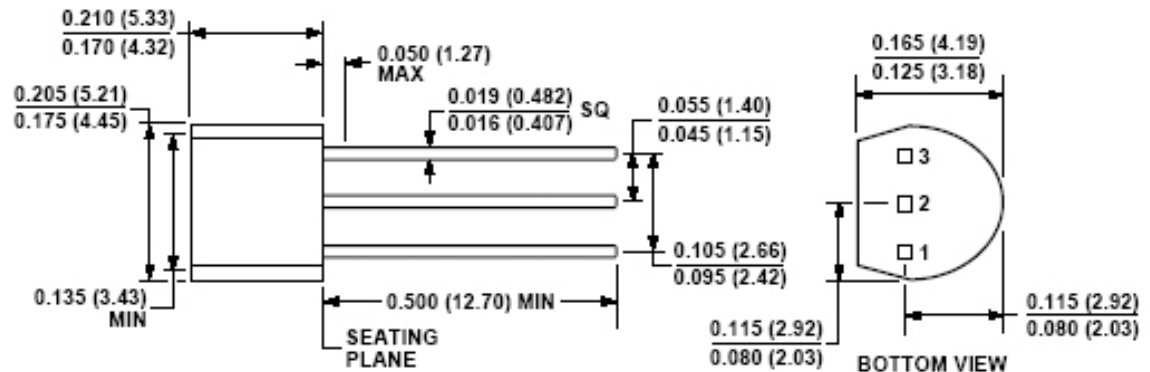
Linearizované termistorové teplotní čidlo

$+V_S$ (2.7V TO 5.5V)

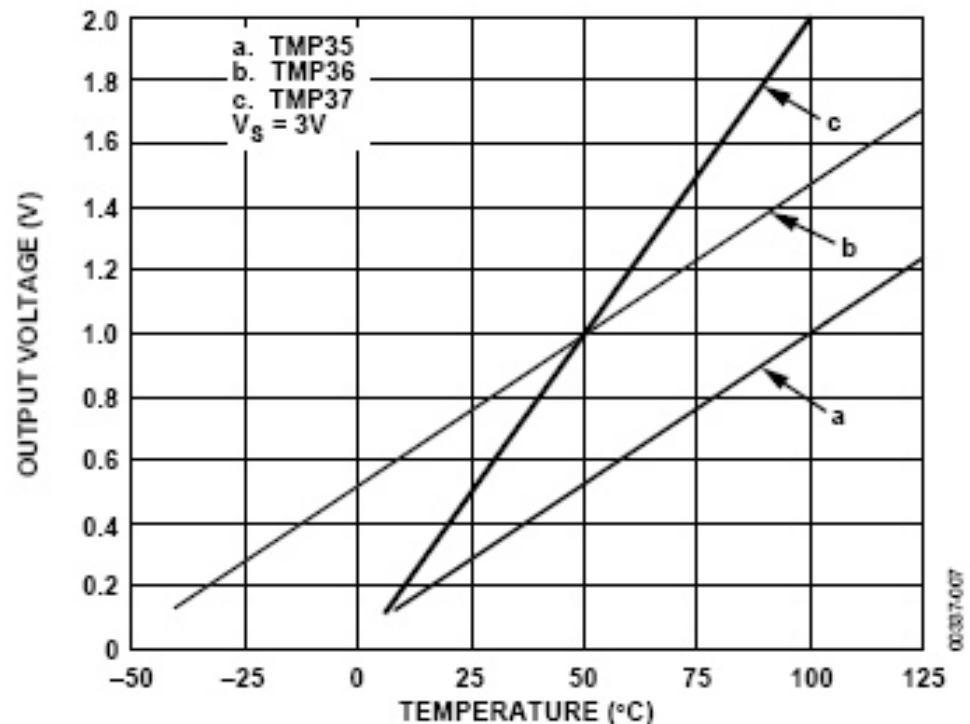


V_{OUT}

00337-001



Nestnosti termistoru, především nelinearitě řeší hotová čidla se zabudovaným zesilovačem, s obvody pro linearizaci a s napěťovým výstupem. Např. tato TMP35(6,7) od Analog Devices.



00337-007