

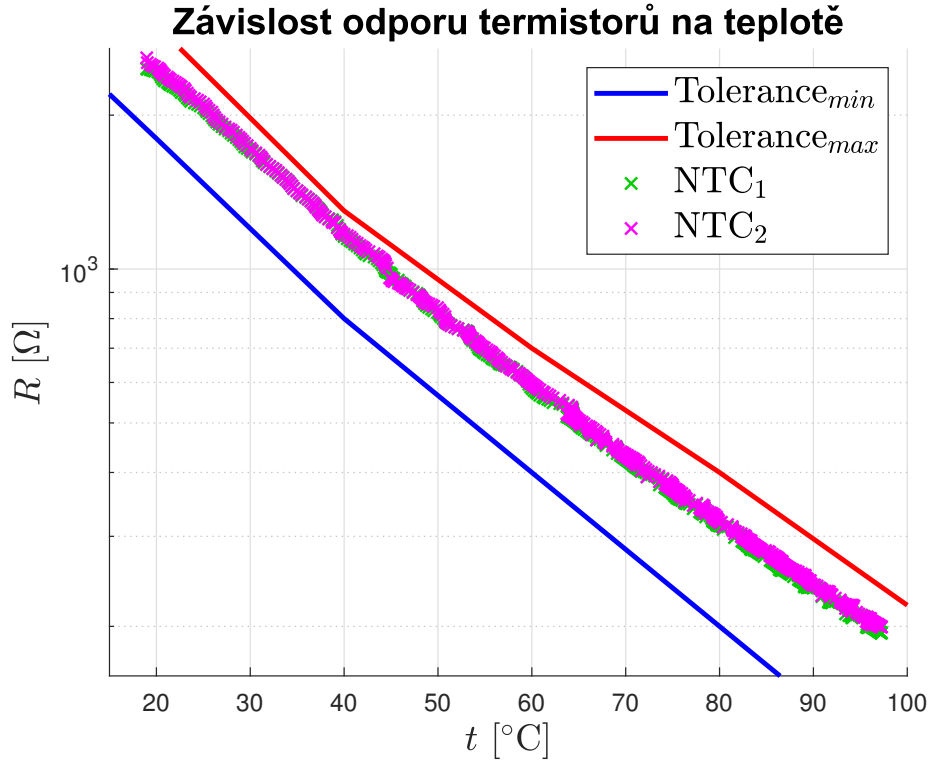
Měření teploty  
Protokol z předmětu B3M38ASE

Filip Dašek

31. března 2024

## 1 Srovnání

Na obrázku 1 je zobrazeno srovnání charakteristik obou NTC termistorů včetně hranic tolerancí. Z tohoto obrázku je jasné vidět, že oba termistory jsou v toleranci.



Obrázek 1: Srovnání charakteristik obou termistorů

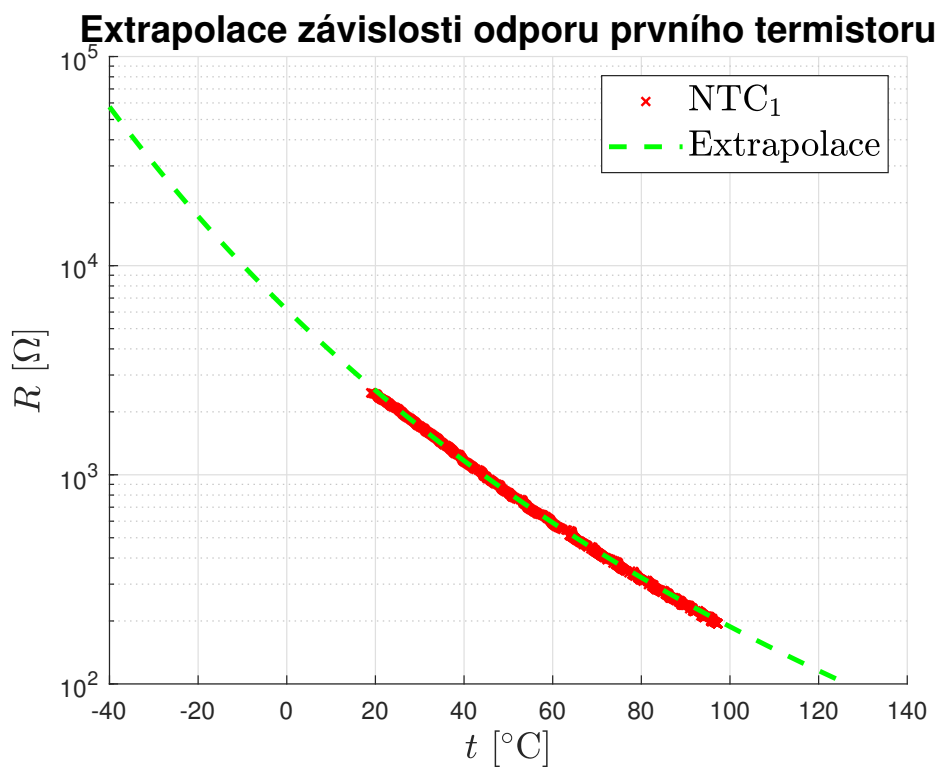
V tomto grafu naměřených hodnot lze také spatřit jisté "zuby", které byly způsobeny krátkým vyzdvihnutím skupiny senzorů z měřicí kádě. Toto vyzdvihnutí bylo iniciováno učiteli, kteří zkoumali rozpadající se konstrukci která drží senzory pohromadě.

## 2 Extrapolace

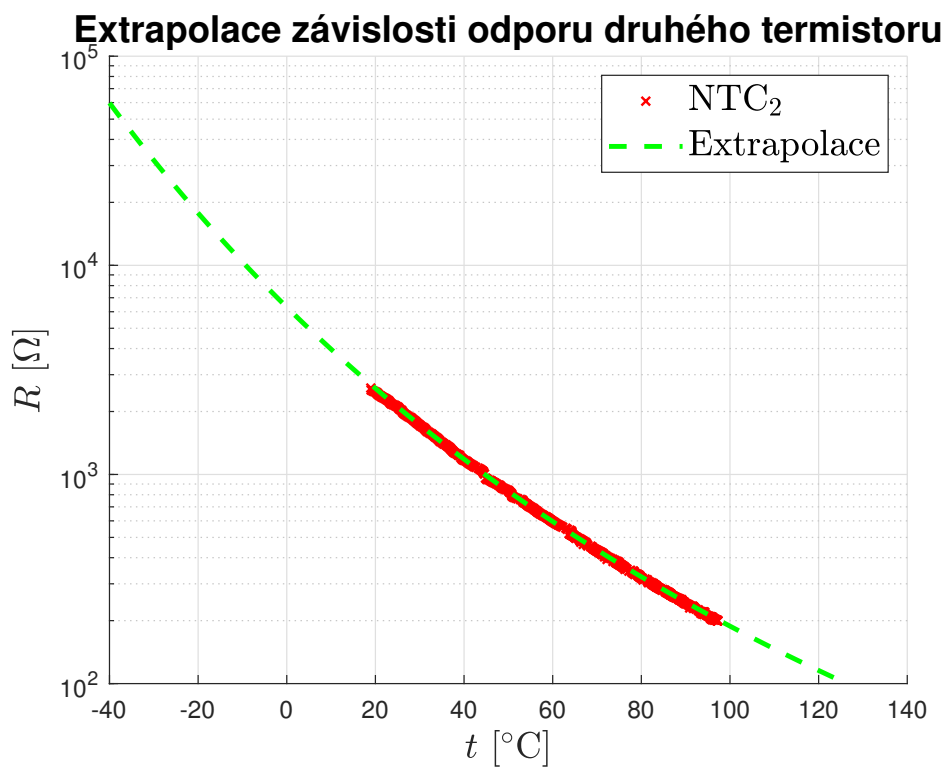
Extrapolace byla provedena s využitím následujícího vzorce:

$$R_{NTC}(T) = R_{REF} e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{REF}}\right)}$$

REF v tomto vzorci označuje referenční bod při teplotě  $T_{REF} = 25^{\circ}\text{C}$ . Jako  $R_{REF}$  byla zvolena hodnota  $2067\ \Omega$  pro  $\text{NTC}_1$  a  $2103\ \Omega$  pro  $\text{NTC}_2$ . Na obrázcích 2 a 3 jsou zobrazeny nalezené extrapolace pomocí matlabovské funkce `lsqcurvefit()`. Hodnoty parametrů nalezených pomocí této funkce jsou  $b_1 = 3557\ \text{K}$  pro  $\text{NTC}_1$  a  $b_2 = 3580\ \text{K}$  pro  $\text{NTC}_2$ .



Obrázek 2: Graf extrapolace prvního termistoru



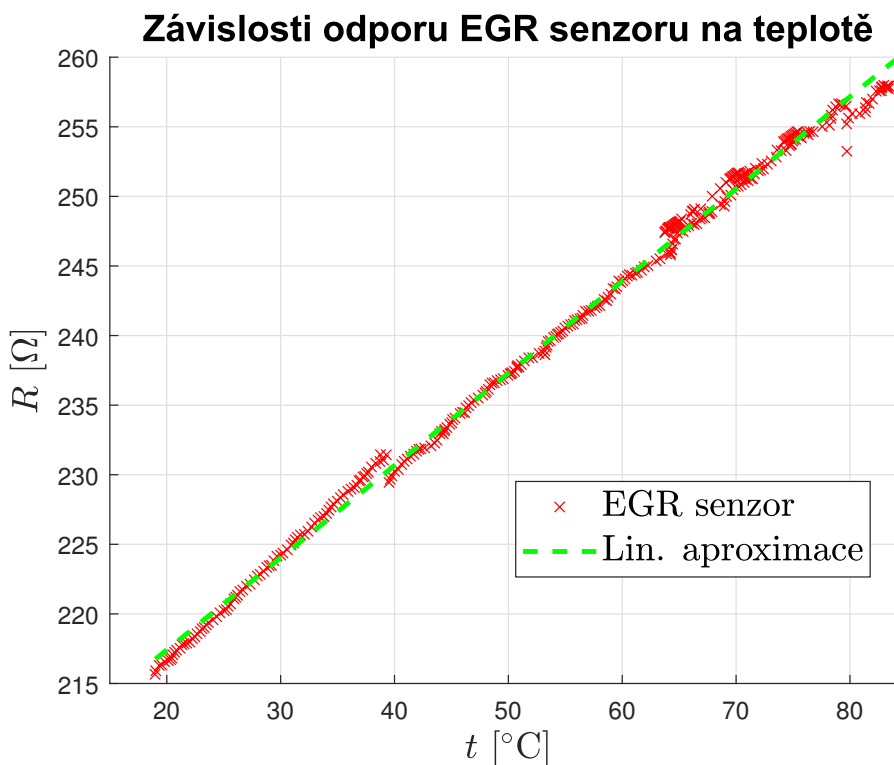
Obrázek 3: Graf extrapolace druhého termistoru

### 3 Charakteristika senzoru EGR

#### 3.1 Graf

Na obrázku 4 je zobrazena charakteristika neznámého senzoru. Tato charakteristika byla proložena affíní funkcí s využitím výše zmíněné matlabovské funkce *lsqcurvefit()*. Výsledná rovnice regresní křivky:

$$R_{EGR}(t) = 204 + 0.662t$$



Obrázek 4: Charakteristika EGR senzoru

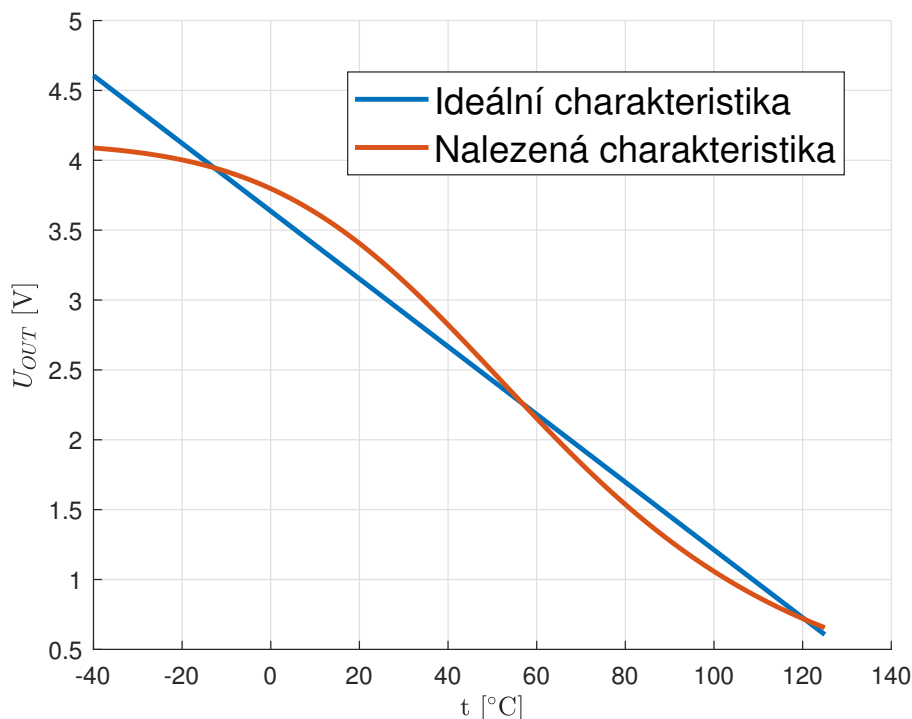
V tomto grafu je také velice znatelný jeden ze "zubů" zmíněných v sekci 1.

#### 3.2 Porovnání

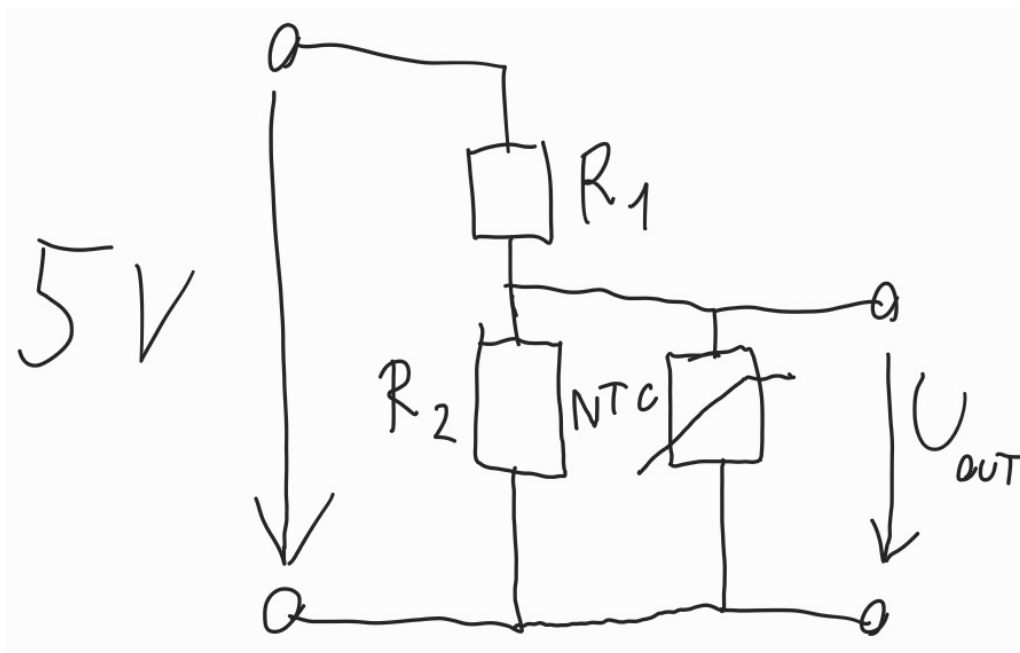
Při hledání na internetu EGR senzorů teploty jsem narazil pouze na NTC senzory teploty, které mají absolutně odlišnou charakteristiku (viz sekce výše). Tento senzor má spíše charakteristiku senzoru PT100 vynásobenou dvěma. Tomu napovídají i hodnoty parametrů regresní křivky.

### 4 Obvod s NTC

Linearizační obvod byl vytvořen pomocí matlabovské funkce která řeší nelineární úlohu nejmenších čtverců *lsqnonlin()*. Minimalizován zde byl rozdíl mezi navrhnutou ideální výstupní charakteristikou a výstupem děliče napětí napájeným zdrojem napětí (obrázky 5 a 6). Nalezené hodnoty jsou  $R_1 = 662 \Omega$  a  $R_2 = 3121 \Omega$ .



Obrázek 5: Porovnání ideální a nalezené výstupní charakteristiky obvodu

Obrázek 6: Obvod jehož parametry  $R_1$  a  $R_2$  byly optimalizovány

S předpokladem že máme ADC s rozsahem  $U_{REF} = 5\text{ V}$  a  $N$  bity je jeho rozlišovací schopnost  $U_{LSB} = \frac{U_{REF}}{2^N}$ . Pro ideální charakteristiku pak můžeme psát:

$$U_{LSB} \leq \frac{\text{napěťový rozsah}}{\text{teplotní rozsah}} = \frac{4,6 - 0,6}{125 - (-40)} = 24\text{ mV}$$

Toto splňuje počet bitů ADC  $N = 8$  ( $U_{LSB} \approx 19\text{ mV}$ .) Pokud toto aplikujeme na nalezenou charakteristiku, tak dostáváme:

$$U_{LSB} \leq \text{nejmenších napěťový rozdíl} = 4,08829 - 4,08578 = 2,51\text{ mV}$$

Toto splňuje počet bitů ADC  $N = 11$  ( $U_{LSB} \approx 2,44\text{ mV}$ .)

## 5 Experiment s termočlánkem

### 5.1 Popis

Tento experiment má za úkol demonstrovat, že termoelektrické napětí na termočlánku vzniká podél teplotního gradientu od teplého konce až do studeného (měřeného) konce. Proto je důležité, aby celá cesta kde vzniká teplotní gradient byla z materiálů s podobnými (ideálně stejnými) termoelektrickými vlastnostmi. Nedodržení této zásady může vést k hrubým chybám v měření.

Termočlánek byl složen ze tří částí. První část byla klasický teplý konec. Ten byl spojen s druhou částí pomocí přívodních kabelů s vhodnými termoelektrickými vlastnostmi. Druhá část byla keramická kostka ze které vedly dvě dvojice kabelů. Jedna dvojice byla pokračování vhodného vedení pro nenulový teplotní gradient a druhá byla sada běžných měděných kabelů. Třetí část byla studený konec, kde byly voltmetrem měřeny zmíněné páry kabelů.

### 5.2 Měření

Teplý konec byl přiložen na teplou varnou desku. Samotné měření pak probíhalo ve dvou krocích. Nejdříve byla keramická kostka vystavena pokojové teplotě a bylo změřeno napětí na obou sadách výstupních kabelů. Poté byla kostka přitlačena na teplou varnou desku a opět bylo změřeno výstupní napětí. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 1. V této tabulce lze pozorovat, že měření na zadních svorkách voltmetru je extrémně zatíženo chybou (relativní rozdíl  $\approx -50\%$ ) při vystavení keramické kostce teplu. Měření na předních svorkách má výrazně menší relativní rozdíl ( $\approx -6\%$ ).

Teplota ker. kostky	Přední svorky [mV]	Zadní svorky [mV]
Pokojová teplota kostky	4.15	4.3
Kostka vystavena teplu	3.92	2.18

Tabulka 1: Naměřené hodnoty k experimentu s termočlánkem

### 5.3 Závěr

Na zadních svorkách multimetru byly pravděpodobně připojeny obyčejné měděné kabely, jelikož byl na těchto svorkách veliký rozdíl v naměřených hodnotách pro chladnou a teplou keramickou kostku. Naopak na předních svorkách byly pravděpodobně použity vhodné prodlužovací kabely a rozdíl v naměřených hodnotách nebyl tak výrazný.