

8. NEVYVÁŽENÝ WHEATSTONEŮV MŮSTEK - VYHODNOCENÍ ZMĚNY ODPORU TEPLOTNÍHO SNÍMAČE PT1000

8.1. Úvod

Pro vyhodnocování změny odporu u odporových senzorů neelektrických veličin (např. teploty) se vesměs používá nevyvážený Wheatstoneův můstek. Výhodou tohoto řešení je, že základní hodnotě odporu senzoru, která odpovídá základní hodnotě měřené neelektrické veličiny (např. 0 °C u odporového teploměru), odpovídá nulová hodnota výstupního napětí. Platí tedy, že výstupní napětí je úměrné **změně** odporu a tedy i změně velikosti měřené neelektrické veličiny. Totéž platí i o znaménku, např. kladným hodnotám teploty ve °C odpovídá kladné napětí a záporným hodnotám napětí záporné.

Nevýhodou tohoto řešení je, že závislost výstupního napětí rozváženého Wheatstoneova můstku není lineární. Velikost nelinearity závisí na způsobu napájení Wheatstoneova můstku (ze zdroje napětí, obr 8.1, či ze zdroje proudu, obr 8.2). Při odvození závislosti výstupního napětí U_{BD} na změně odporu ΔR vycházíme z toho, že napětí U_{BD} je rovno rozdílu napětí na výstupu odporových děličů tvořených odpory R_1 , R_2 a R_3 , R_4 , tedy

$$U_{BD} = U_{AC} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) \quad (1)$$

a po dosazení $R_1 = R_0 + \Delta R$; $R_2 = R_3 = R_4 = R_0$ získáme vztah pro závislost výstupního napětí U_{BD} na změně odporu ΔR . Nelinearitu způsobuje člen ve jmenovateli $1 + \Delta R/2R_0$. Pokud bude platit, že $1 \gg \Delta R/2R_0$, pak lze tuto nelinearitu zanedbat.

Při napájení ze zdroje proudu je situace komplikovanější, protože napětí U_{AC} nebude konstantní, a bude pro něj platit

$$U_{AC} = I_Z \frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \quad (2)$$

Pak obdobně po dosazení do (1) za $R_1 = R_0 + \Delta R$; $R_2 = R_3 = R_4 = R_0$ a za U_{AC} z výše uvedeného vztahu, získáme vztah pro závislost výstupního napětí U_{BD} na změně odporu ΔR při napájení můstku ze zdroje proudu. Nelinearitu i zde způsobuje člen ve jmenovateli, zde ale $1 + \Delta R/4R_0$. Pokud bude platit, že $1 \gg \Delta R/4R_0$, pak lze tuto nelinearitu, která je zde poloviční, zanedbat.

V zapojení dle obr. 8.3 v případě ideálního OZ předpokládáme, že $I_{IP} = I_{IN} = 0$ a pak tedy platí, že proud I protékající odporem $R_D = R_0$ je roven záporně vzatému proudu protékajícího odporem $R_0 + \Delta R$. Vzhledem k další vlastnosti ideálního OZ je invertující vstup na stejném napětí jako vstup neinvertující, tedy $U_Z/2$ a úbytek napětí na odporu $R_0 + \Delta R$ bude $U_2 - U_Z/2$ (viz níže).

$$\frac{U_Z/2}{R_0} = - \frac{U_2 - U_Z/2}{R_0 + \Delta R}$$

a tedy

$$U_2 = -U_Z \frac{\Delta R}{2R_0}$$

Teoreticky je tedy závislost výstupního napětí na ΔR lineární.

Vzhledem k náročnosti realizace přípravku s jinými typy odporových senzorů (odporový teploměr, tenzometr) je obecný odporový senzor nahrazen v této úloze sériovou kombinací rezistoru a

potenciometru, jehož odpor je závislý na úhlu natočení α , přičemž základní hodnota odporu R_0 odpovídá nastavení $\alpha = 0^\circ$ s možností změny úhlu do 180° a simuluje úlohu odporového senzoru teploty Pt1000 jeho nominální hodnota pro 0°C odpovídá $1\text{ k}\Omega$.

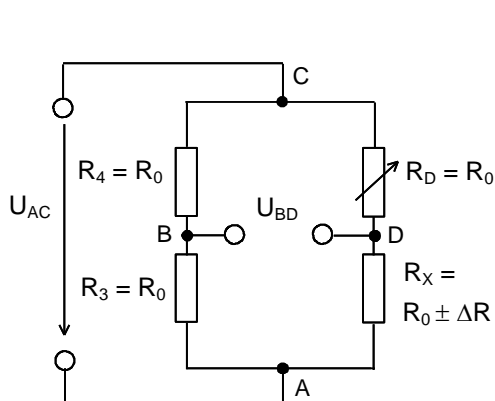
8.2. Domácí příprava

- 8.2.1. Prostudujte si teoretický úvod
- 8.2.2. **Odvoďte** teoretický výsledný vztah pro výstupní napětí U_{BD} Wheatstoneova můstku napájeného ze zdroje napětí, obr. 8.1.
- 8.2.3. **Odvoďte** teoretický výsledný vztah pro výstupní napětí U_{BD} Wheatstoneova můstku napájeného ze zdroje proudu, obr. 8.2.

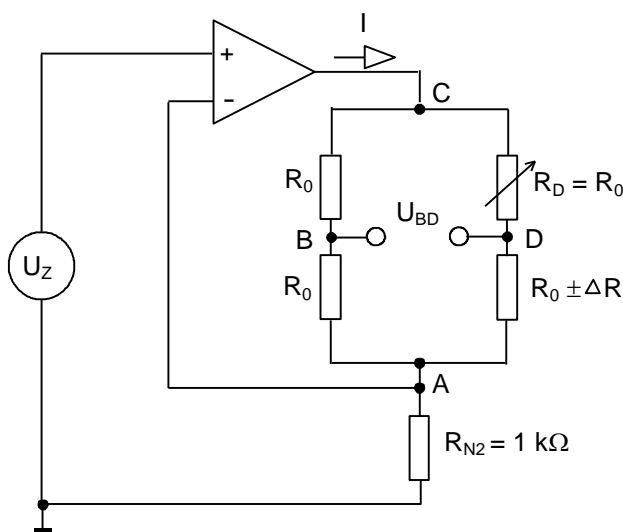
8.3. Úkol měření

- 8.3.1. Odporový snímač zapojte do Wheatstoneova můstku napájeného ze zdroje napětí $U_{AC} = 5\text{ V}$ (obr. 8.1.). Můstek vyvažte odporovou dekádou R_D pro hodnotu $\alpha = 0^\circ\text{C}$ a změřte závislost f_{MN} výstupního napětí U_{BD} na změně úhlu α (teploty), tj. na změně odporu ΔR
- 8.3.2. Odporový snímač zapojte do Wheatstoneova můstku napájeného ze zdroje proudu $I = 5\text{ mA}$. Zdroj proudu realizujte pomocí operačního zesilovače (obr. 8.2.). Můstek opět vyvažte odporovou dekádou R_D pro hodnotu $\alpha = 0^\circ\text{C}$ a změřte závislost f_{MP} výstupního napětí U_{BD} na změně úhlu α (teploty), tj. na změně odporu ΔR (pro stejné hodnoty α jako v bodě 8.3.1).
- 8.3.3. Podle schématu na obr. 8.3. zapojte tzv. „linearizovaný můstek“ (velikost napájecího napětí volte $U_Z = 2,5\text{ V}$). Můstek vyvažte odporovou dekádou R_D pro hodnotu $\alpha = 0^\circ\text{C}$ a změřte závislost f_{LM} výstupního napětí U_2 na změně úhlu α (teploty), tj. na změně odporu ΔR (pro stejné hodnoty úhlu α jako v předešlých bodech).
- 8.3.4. Do společného grafu vynesete *odchylky hodnot* naměřených dle bodů 8.3.1., 8.3.2. a 8.3.3. od lineárního průběhu. Směrnici přímky U_2 , od které budete určovat odchylky od linearity, stanovte z koncových bodů naměřené závislosti $f_{LM}(\Delta R)$ (tedy pro $\alpha = 0^\circ\text{C}$ a $\alpha = 160^\circ\text{C}$). Odchylky závislostí $f_{MN}(\Delta R)$, $f_{MP}(\Delta R)$ a $f_{LM}(\Delta R)$ od linearity určete jako odchylky těchto závislostí od přímky $U_2' = f_{LM}'(\Delta R)$. To lze udělat proto, že pro měření dle bodů 8.3.1., 8.3.2. a 8.3.3. jsou v zadáních zvoleny hodnoty napájecích napětí (resp. proudu) tak, aby směrnice všech závislostí v počátku byly zhruba stejné.

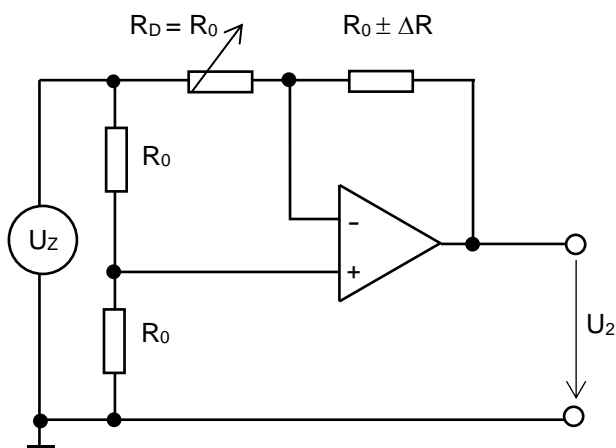
8.4. Schéma zapojení



Obr. 8.1. Wheatstoneův můstek napájený ze zdroje napětí



Obr. 8.2. Wheatstoneův můstek napájený ze zdroje proudu



Obr. 8.3. Schéma „linearizovaného“ můstku

8.5. Poznámky k měření

- 8.5.1 Můstky vždy před vlastním měřením závislostí (8.3.1), (8.3.2.) a (8.3.3.) vyvážíte pomocí odporové dekády R_D pro úhel natočení snímače $\alpha = 0^\circ$. Vypočtete odchylky všech tří naměřených závislostí od lineárního průběhu (8.3.4.), tyto odchylky vynesete do grafu a porovnáte průběhy z hlediska linearity.
- 8.5.2 Aby odchylka od linearity způsobená nepřesným nastavováním úhlové hodnoty (teploty) modelu teplotního odporového snímače nepřekryla nelinearitu můstků vyplývající z teoretických závislostí, **nastavujte zvolené hodnoty s maximální pečlivostí.**
- 8.5.3 Platinové odporové teploměry (jako je např. Pt1000) mají danou závislost odporu na teplotě přibližně polynomem $R_t = R_0 (1 + At)$, kde R_0 je odpor snímače při 0°C , $A = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ a t je teplota.