

Nevyvážený Wheatstoneův můstek - vyhodnocení změny odporu odporového snímače

Jakub Dvořák

21.11.2020



**FACULTY OF
ELECTRICAL ENGINEERING**

1 Úkol měření

1. a) Zapojte převodník $R \rightarrow U$ s operačním zesilovačem podle schématu na obr. 1 ($U_r = 10$ V, $R_{N1} = 10$ k Ω) a změřte závislost odporu snímače na jeho úhlové výchylce α_v rozsahu $\alpha = 0$ až 180° po 15° (klidové poloze snímače $\alpha = 90^\circ$ odpovídá hodnota odporu R_0 , tj. $\Delta R = 0$).
- b) Odporový snímač zapojte do Wheatstoneova můstku napájeného ze zdroje napětí $U_{AC} = 5$ V (obr. 2). Můstek vyvažte odporovou dekádou R_D pro hodnotu $\alpha = 90^\circ$ a změřte závislost f_{MN} výstupního napětí U_{BD} na změně úhlu α , tj. na změně odporu ΔR (pro stejné hodnoty α jako v bodě 1). Odvoďte teoretický vztah pro toto napětí, tj.

$$U_{BD} = f_{MN}(\Delta R) = \frac{U_{AC}}{4} \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{1 + \frac{\Delta R}{2R_0}} \quad (1)$$

2. Odporový snímač zapojte do Wheatstoneova můstku napájeného ze zdroje proudu $I = 2,5$ mA. Zdroj proudu realizujte pomocí operačního zesilovače (obr. 3). Můstek opět vyvažte odporovou dekádou R_D pro hodnotu $\alpha = 90^\circ$ a změřte závislost f_{MP} výstupního napětí U_{BD} na změně úhlu α , tj. na změně odporu ΔR (pro stejné hodnoty α jako v bodě 1). Odvoďte teoretický vztah pro toto napětí, tj.

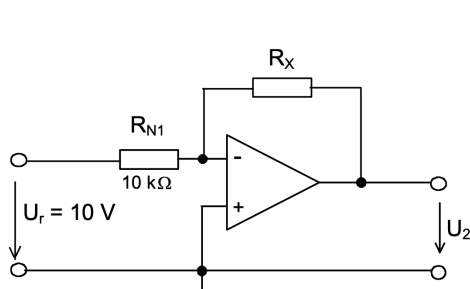
$$U_{BD} = f_{MN}(\Delta R) = \frac{I}{4} \frac{\Delta R}{1 + \frac{\Delta R}{4R_0}} \quad (2)$$

3. Podle schématu na obr. 4 zapojte tzv. „linearizovaný můstek“ (velikost napájecího napětí volte $U_Z = 2,5$ V). Můstek vyvažte odporovou dekádou R_D pro hodnotu $\alpha = 90^\circ$ a změřte závislost $U_2 = f_{LM}$ výstupního napětí U_2 na změně úhlu α , tj. na změně odporu ΔR (pro stejné hodnoty úhlu α jako v předešlých bodech). Odvoďte teoretický vztah pro toto napětí, tj.

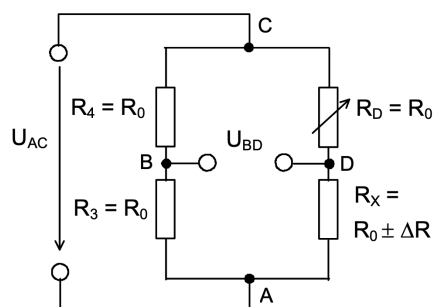
$$U_2 = f_{LM}(\Delta R) = -\frac{\Delta R}{2R_0} U_Z \quad (3)$$

4. Do společného grafu vyneste odchylky hodnot naměřených dle bodů 2, 3 a 4 od lineárního průběhu. Směrnici přímky, od které budete určovat odchylky od linearity, stanovte z koncových bodů naměřené závislosti $f_{LM}(\Delta R)$ (tedy pro $\alpha = 0$ a $\alpha = 180^\circ$). Pokud se absolutní hodnoty napětí v koncových bodech liší, nahraďte je aritmetickým průměrem těchto absolutních hodnot (spojnice $U'_2 = f'_{LM}(\Delta R)$ takto upravených koncových bodů prochází počátkem souřadnic $[\Delta R, U_2]$). 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 2, 3 a 4 jsou v zadáních zvoleny hodnoty napájecích napětí (resp. proudu) tak, aby směrnice všech závislostí v počátku byly zhruba stejné.

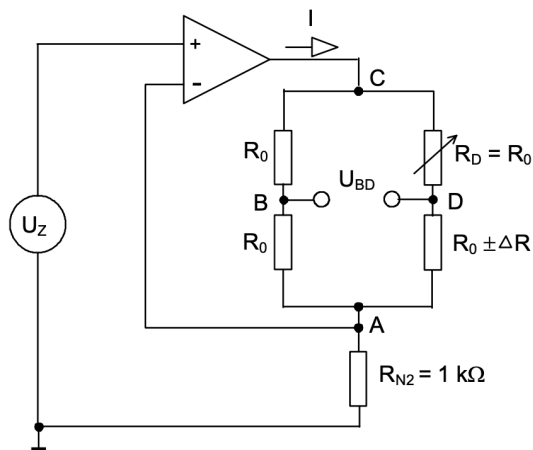
2 Schéma zapojení



Obrázek 1: Schéma zapojení pro převodník $R \rightarrow U$



Obrázek 2: Wheatstoneův můstek napájený ze zdroje napětí



Obrázek 3: Wheatstoneův můstek napájený ze zdroje proudu

- Př 1 - přípravek s operačním zesilovačem
- Př 2 - přípravek s dvojicí rezistorů
- Př 3 - přípravek s odporovým snímačem úhlu
- Z_1 - napájecí zdroj operačního zesilovače
- Z_1 - číslicově řízený zdroj ss napětí U_Z
- ČV - číslicový voltmetr typ: Agilent 34401A
- R_{N1} - rezistor $10\text{ k}\Omega$
- R_{N1} - rezistor $1\text{ k}\Omega$
- R_D - odporová dekáda

3 Seznam použitých přístrojů

4 Teoretický úvod

Pro zapojení podle obrázku 1 platí

$$U_2 = -U_r \frac{U_x}{R_{N1}}.$$

Pro velikost měřeného odporu tedy platí

$$U_x = -R_{N1} \frac{U_2}{R_r}. \quad (4)$$

Nevyvážený Wheatstoneův můstek se většinou využívá při měření neelektrických veličin, které jsou různými senzory převáděny na elektrický odpor.

5 Naměřené hodnoty

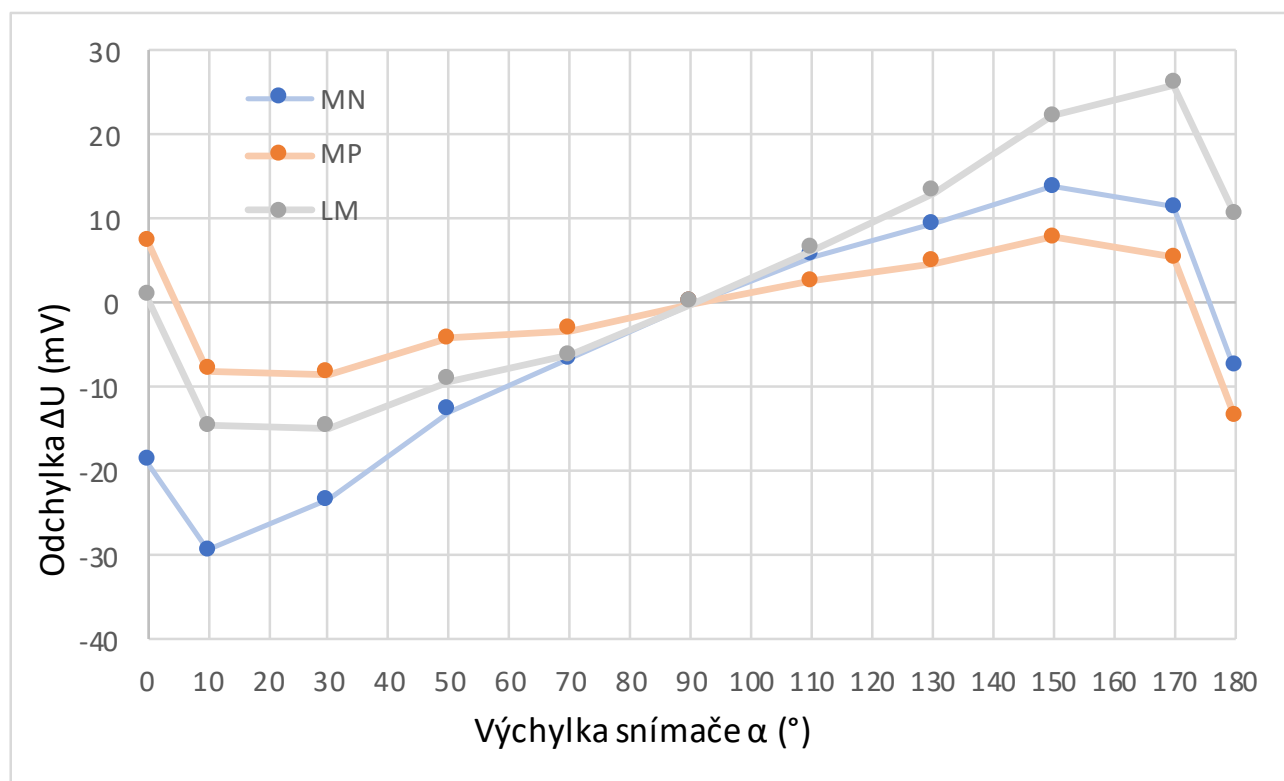
6 Zpracování naměřených hodnot

Hodnoty z kapitoly 1 jsou zaneseny v tabulce 1.

Jednotlivé rozdíly napětí od lineární funkce jsou zakresleny v grafu.

α (°)	R_X (Ω)	ΔR (Ω)	U (mV)	ΔU (mV)	U (mV)	ΔU (mV)	U (mV)	ΔU (mV)	Lin. (mV)
180	2080,5	-315,1	-204,52	-7,59	-198,82	-13,29	-222,70	10,59	-212,11
170	2041,5	-276,1	-181,16	11,47	-175,15	5,46	-195,67	25,98	-169,69
150	1976,8	-211,4	-141,08	13,82	-135,20	7,93	-149,46	22,20	-127,27
130	1905,1	-139,7	-94,34	9,49	-89,81	4,96	-98,13	13,28	-84,84
110	1835,7	-70,3	-48,12	5,69	-45,14	2,71	-48,95	6,53	-42,42
90	1765,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
70	1696,8	68,6	49,04	-6,62	45,53	-3,11	48,47	-6,05	42,42
50	1632,5	132,9	97,65	-12,80	88,93	-4,09	93,95	-9,10	84,84
30	1564,5	200,9	150,57	-23,31	135,68	-8,42	142,03	-14,77	127,27
10	1504,8	260,6	198,97	-29,28	177,51	-7,82	184,28	-14,59	169,69
00	1466,7	298,7	230,76	-18,65	204,62	7,49	211,23	0,88	212,11

Tabulka 1: Vypočtené hodnoty rozdílů napětí od lineární funkce



Graf 1: Závislost rozdílu změny napětí od lineární funkce na výchylce snímače

6.1 Odvození vztahů

$$\begin{aligned}
 U_{BD} &= U_B - U_D = \left(U_{AC} \frac{R_0}{2R_0} \right) - \left(U_{AC} \frac{R_0 + \Delta R}{2R_0 + \Delta R} \right) \\
 U_{BD} &= U_{AC} \left(\frac{1}{2} - \frac{R_0}{2R_0 + \Delta R} \right) = U_{AC} \frac{2R_0 + \Delta R - 2(R_0 + \Delta R)}{4R_0 + 2\Delta R} = -U_{AC} \frac{\Delta R}{2(2R_0 + \Delta R)} \quad (5) \\
 U_{BD} &= -\frac{U_{AC}}{4} \cdot \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{1 + \frac{\Delta R}{2R_0}}
 \end{aligned}$$

Pro odvození vztahu pro proudový zdroj budeme vycházet z proudového děliče:

$$\frac{I_B}{I} = \frac{\frac{U}{2R_0}}{U \frac{4R_0 + \Delta R}{2R_0(2R_0 + \Delta R)}} = \frac{\cancel{2R_0}}{\cancel{2R_0}} \cdot \frac{\cancel{2R_0(2R_0 + \Delta R)}}{4R_0 + \Delta R} = \frac{2R_0 + \Delta R}{4R_0 + \Delta R} \rightarrow I_B = \frac{2R_0 + \Delta R}{4R_0 + \Delta R} \cdot I \quad (6)$$

$$I_D = I - I_B = I \left(1 - \frac{2R_0 + \Delta R}{4R_0 + \Delta R} \right) = \frac{2R_0}{4R_0 + \Delta R} \quad (7)$$

$$U_{BD} = R_0 I_B - (R_0 + \Delta R) \cdot I_D = -I \frac{R_0 + \Delta R}{4R_0 + \Delta R} = -\frac{I}{4} \cdot \Delta \frac{1}{1 + \frac{\Delta R}{4R_0}} \quad (8)$$

7 Závěrečné vyhodnocení

Jak je vidět z grafu 1, tak nejvíce přesná metoda je můstek napájený ze zdroje proudu. Nicméně v praxi je nejpresnější metoda linearizovaného můstku. Tato chyba mohla vzniknout například nepřesným určováním polohy úhlu ručičky. Další zdroj nepřesnosti mohl být nesprávné vyvážení můstku na začátku měření.

Seznam použité literatury a zdrojů informací

Seznam použitých internetových zdrojů

[1] Návod k laboratorní úloze