14. Wheatstoneův můstek. Vyhodnocení odporu odporového snímače

14.1. Teoretický rozbor

Vyvážený *Wheastonův můstek* se v současné době využívá prakticky prouze pro velmi přesná měření středních odporů. Velice často se však stále ještě používá *nevyvážený Wheastonův můstek*, a to zejména v oblasti měření nelektrických veličin (teplota, tenzometrická měření).

14.1.1. Odvození vztahů

Pro Wheastonův můstek napájený ze zdroje napětí platí

$$U_{BD} = U_{AC}\left(\frac{R_X}{R_X + R_D} - \frac{R_3}{R_3 + R_4}\right)$$

Pro $\Delta R = 0$ ($\alpha = 90°$) vyvážíme můstek pomocí odporové dekády R_D tak, že $U_{BD} = 0$ ($R_D = R_0$) a můstek rozvažujeme změnou ΔR. Po dosazení za $R_X = R_0 \pm \Delta R$, $R_3 = R_4 = R_D = R_0$ dostaneme pro výstupní napětí můstku vztah

$$U_{BD} = U\left(\frac{1}{2} - \frac{R_0 \pm \Delta R}{2R_0 \pm \Delta R}\right) = U_{AC}\left(\frac{(2R_0 \pm \Delta R) - (2R_0 \pm \Delta R)}{2(2R_0 \pm \Delta R)}\right) = -U_{AC}\frac{\pm\Delta R}{2(2R_0 \pm \Delta R)}$$

Pro zapojení Wheatstoneova můstku napájeného ze zdroje proudu platí (odvozeno pomocí vztahu pro proudový dělič)

$$\frac{I_B}{I} = \frac{\frac{U}{2R_0}}{\frac{U}{\frac{2R_0(2R_0 \pm \Delta R)}{4R_0 \pm \Delta R}}} = \frac{2R_0 \pm \Delta R}{4R_0 \pm \Delta R} \Rightarrow I_B = \frac{2R_0 \pm \Delta R}{4R_0 \pm \Delta R} I$$

$$I - I_B = I\left(1 - \frac{2R_0 \pm \Delta R}{4R_0 \pm \Delta R}\right) = I\frac{2R_0}{4R_0 \pm \Delta R}$$

Napětí U_{BD} je tedy dáno vztahem

$$U_{BD} = I_B R_0 - (I - I_B)(R_0 \pm \Delta R)$$

a po dosazení z předcházejících vztahů dostaneme výraz

$$\begin{aligned} U_{BD} &= \frac{2R_0 \pm \Delta R}{4R_0 \pm \Delta R} I R_0 - \left(I\frac{2R_0}{4R_0 \pm \Delta R}\right)(R_0 \pm \Delta R) = I\frac{R_0(2R_0 \pm \Delta R) - 2R_0(2R_0 \pm \Delta R)}{4R_0 \pm \Delta R} = \\ &= -I\frac{R_0(\pm\Delta R)}{4R_0 \pm \Delta R} = -I\frac{\pm\Delta R}{4 \pm \frac{\Delta R}{R_0}} \end{aligned}$$

14.2. Naměřené a vypočtené hodnoty

14.2.1. Závislost odporu snímače na jeho úhlové výchylce α

α [°]	U_2 [V]	R_X [Ω]	ΔR [Ω]	α [°]	U_2 [V]	R_X [Ω]	ΔR [Ω]
0	−1,15	1146	−209	105	−1,39	1391	36
15	−1,18	1175	−180	120	−1,43	1427	72
30	−1,21	1210	−145	135	−1,46	1464	109
45	−1,25	1247	−108	150	−1,5	1498	143
60	−1,28	1283	−72	165	−1,54	1535	180
75	−1,32	1318	−37	180	−1,57	1568	213
90	−1,36	1355	0				

14.2.2. Wheastnonův můstek napájený ze zdroje napětí

- Napětí zdroje $U_{AC} = 5$ V
- Hodnota na odporové dekádě $R_0 = 1366{,}4\ \Omega$
- Naměřené napětí U'_{BD}
- Teoretická hodnota U_{BD} vypočítaná ze vztahu

$$U_{BD} = U_{AC}\frac{\Delta R}{2(2R_0 + \Delta R)}$$

α [°]	U'_{BD} [V]	U_{BD} [V]	ΔU_{BD} [V]	α [°]	U'_{BD} [V]	U_{BD} [V]	ΔU_{BD} [V]
0	−0,21	−0,21	0,0010	105	0,04	0,03	−0,0035
15	−0,17	−0,18	−0,0033	120	0,07	0,06	−0,0018
30	−0,14	−0,14	−0,0031	135	0,10	0,10	−0,0011
45	−0,10	−0,10	−0,0029	150	0,13	0,12	−0,0017
60	−0,06	−0,07	−0,0046	165	0,16	0,15	−0,0025
75	−0,03	−0,03	−0,0023	180	0,18	0,18	−0,0022
90	0,00	0,00	0,0000				

14.2.3. Wheastnonův můstek napájený ze zdroje proudu

- Napětí zdroje $U_Z = 3{,}622$ V
- Proud I dodávaný z převodníku U/I, s odporem $R_N = 1\ \mathrm{k}\Omega$

$$I = \frac{U_Z}{R_N} = \frac{3{,}622}{1000}\ \mathrm{A} = 3{,}622\ \mathrm{mA}$$

- Hodnota na odporové dekádě $R_0 = 1366{,}5\ \Omega$
- Naměřené napětí U'_{BD}
- Teoretická hodnota U_{BD} vypočítaná ze vztahu

$$U_{BD} = \frac{I\Delta R}{4 + \frac{\Delta R}{R_0}}$$

α [°]	U'_{BD} [mV]	U_{BD} [mV]	ΔU_{BD} [mV]	α [°]	U'_{BD} [mV]	U_{BD} [mV]	ΔU_{BD} [mV]
0	−192,86	−196,77	3,91	105	32,59	32,38	0,21
15	−166,2	−168,54	2,34	120	67,13	64,35	2,78
30	−132,87	−134,88	2,01	135	100,51	96,77	3,74
45	−101,62	−99,77	−1,85	150	132,96	126,19	6,77
60	−64,34	−66,07	1,73	165	165,68	157,79	7,89
75	−32,81	−33,73	0,92	180	195,34	185,64	9,70
90	0,00	0,00	0,00				

14.2.4. Závislost $\mathbf{U_2 = f(\Delta R)}$ linearizovaného můstku

- Napětí zdroje $U_Z = 2{,}500$ V
- Hodnota na odporové dekádě $R_0 = 1366{,}5\ \Omega$
- Naměřené napětí U'_2
- Teoretická hodnota U_2 vypočítaná ze vztahu

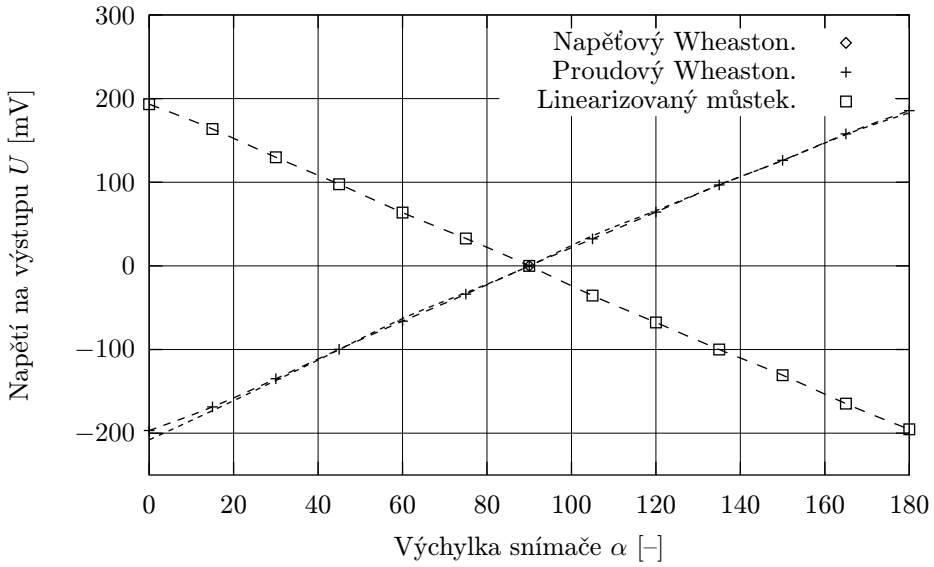
$$U_2 = -\frac{\Delta R}{2R_0} U_Z$$

- Směrnice přímky k stanovena z krajních bodů závislosti pro $\alpha_1 = 0°$, $U_1 = -192{,}86$ mV a $\alpha_2 = 180°$, $U_2 = 195{,}34$ mV

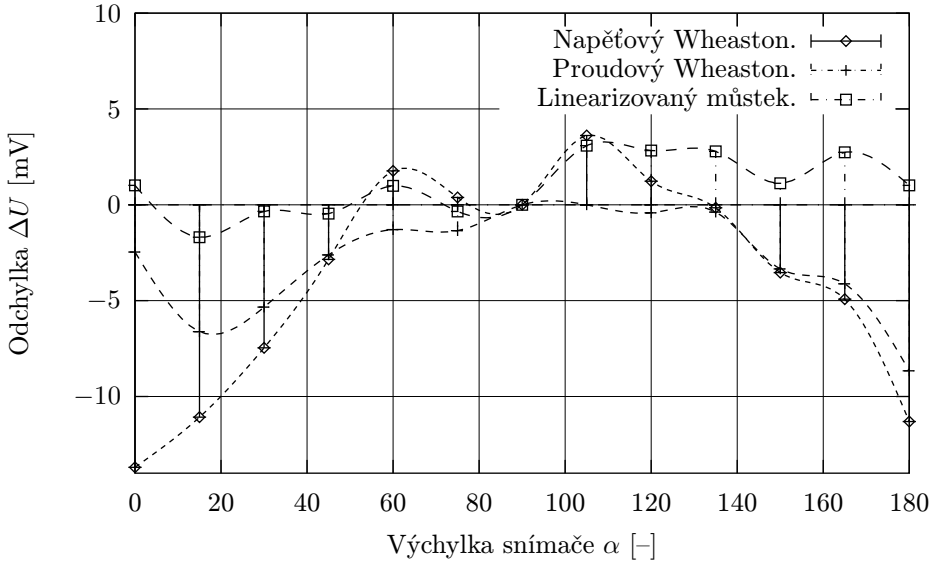
$$k = \frac{U_2 - U_1}{\alpha_2 - \alpha_1} = \frac{195{,}34 - (-192{,}86)}{180 - 0} = 2{,}1567$$

α [°]	U'_2 [mV]	U_2 [mV]	ΔU_2 [mV]	α [°]	U'_2 [mV]	U_2 [mV]	ΔU_2 [mV]
0	193,29	191,18	−2,11	105	−35,47	−32,93	2,54
15	163,61	164,65	1,04	120	−67,6	−65,86	1,74
30	129,88	132,64	2,76	135	−99,94	−99,71	0,23
45	97,61	98,79	1,18	150	−130,66	−130,81	−0,15
60	63,78	65,86	2,08	165	−164,66	−164,65	0,01
75	32,73	33,85	1,12	180	−195,32	−194,84	0,48
90	0,00	0,00	0,00				

14.3. Závislost výstupních napětí na výchylce



14.4. Závislost odchylek výstupních napětí od linearizovaného průběhu



14.5. Závěr

Pro všechny typy můstků se z měnícím se ΔR odchylka ΔU měnila v závislosti na vyvážení můstku. U linearizovaného můstku se odchylka měnila minimálně. Od ideálního lineárního můstku se tak nejvíce odlišuje Wheatstoneův můstek napájený zdrojem napětí a asi o polovinu přesnější byl Wheatstoneův můstek napájený zdrojem proudu.

Porovnání naměřených a teoretických hodnot vychází přibližně stejně pro všechny typy můstků.