



Meracie členy mechanických veličín, odporová tenzometria a kalibrácia (2)

Ján Šturcel

3. Vyhodnocovacie obvody pre odporové tenzometry

Rozlišovacia schopnosť snímačov mechanického napätia zodpovedá hodnotám pomernej deformácie okolo $\varepsilon = 10^{-6}$. Pri hodnotách $K = 2$, napájacom napätí mostíka rádovo jednotiek voltov a odporoch tenzometrov okolo 100Ω , je výstupné napätie vyhodnocovacieho obvodu len niekoľko jednotiek μV . Okrem toho sú merané zmeny odporu rádovo $\mu\Omega$, z čoho vyplýva, že na vyhodnocovacie obvody meracích členov s odporovými tenzometrami sú kladené mimoriadne nároky. Takýto prístroj musí veľmi často riešiť potlačenie vplyvu prírodných vedení a prepínačov meracích miest. Ďalším závažným zdrojom rušenia je termoelektrické napätie z termočlánku, ktoré vzniká spojením materiálu tenzometra a prírodného vedenia. Z hľadiska elektrických vlastností je potrebné považovať tenzometer za pasívny dvojpól charakterizovaný veličinami $R_{0,0}$, $R_{0,\theta}$, C_1 , C_2 , ε a parazitnými kapacitami.

Často používané vyhodnocovacie metódy pre tenzometry sú:

- Wheatstonove mostíky,
- potenciometrické metódy [1],
- porovnávacíe metódy [1].

Mostík patrí k najčastejším aplikáciám vyhodnocovacích obvodov tenzometrov v meracích členoch mechanických veličín, pričom je vyvážený pri nezaťažených tenzometroch. Rôzne zapojenia sú znázornené na obr. 4. Jednosmerné mostíky patria k najrozšírenejším v štandardných aplikáciách, najmä tzv. plný mostík, čiže pre štyri aktívne prvky. Nestálosť nuly v jednosmerných zosilňovačoch a termoelektrické poruchové napätia obmedzujú možnosti použitia jednosmerných mostíkov. Uvedené problémy rieši mostík striedavým napájaním, avšak častokrát za cenu nutných dôsledkov parazitných impedancií vedení i vlastných tenzometrov. Pre striedavé napájanie s nosnou frekvenciou pod 200 Hz možno zanedbať

vplyvy parazitných kapacít tenzometrov a vedenia. Striedavé mostíky však nie sú vhodné na meranie premenného mechanického napätia s vyššou frekvenciou. Impulzné napájanie mostíka sa uplatňuje len pri potláčaní tepelného preťaženia meracieho systému, čiže keď nie je možné použiť vyššie napájacie napätie.

Pre výpočet napätia u_D (obr. 4c) možno použiť vzťah [6]

$$u_D = U \cdot K_U \left[\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_3}{R_3} \right] \cdot (1 - N) \cdot P \cdot D \quad (10)$$

kde

$$K_U = \frac{R_2 \cdot R_3}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)}$$

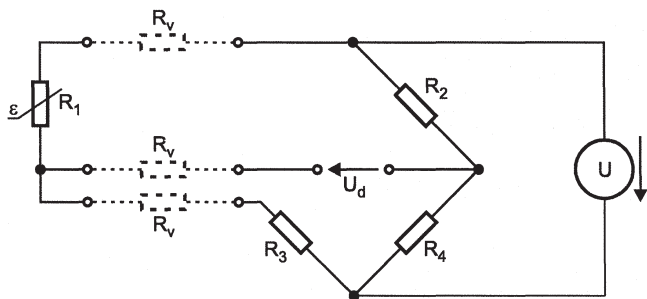
Člen N je súčiniteľ vyjadrujúci chybu linearity výstupného napätia u_D . Pre deformácie do $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-2}$ má súčiniteľ N zanedbateľnú hodnotu. Člen P rešpektuje vplyv odporu vedenia R_v , pričom jeho významné zmeny môžu vznikáť aj kolísaním prechodových odporov spájacích svoriek na vedeniach alebo prechodových odporov prepínačov meracích miest pri väčšom množstve tenzometrov pripájaných do obvodu centrálného mostíka. Člen D rešpektuje vplyv vstupného odporu R_s , t. j. vplyv nadväzujúceho meracieho prevodníka alebo indikátora.

Z hľadiska potlačenia chyby linearity a obmedzenia teplotnej závislosti vyhodnocovacích obvodov je výhodnejšie používať prúdový mostík (napájaný prúdom). Pre zapojenie podľa obr. 5c s prúdovým napájaním platí podobný vzťah ako pri rovnici 10 [6]

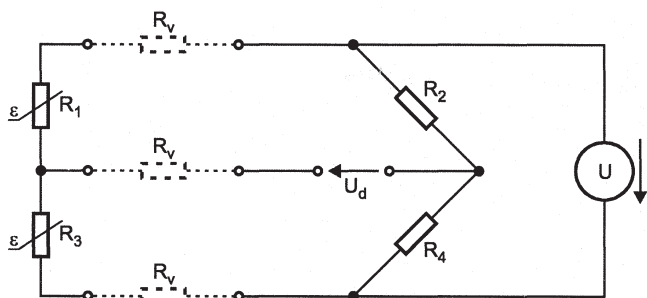
$$u_D = I \cdot K_I \left[\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_3}{R_3} \right] \cdot (1 - N_I) \cdot P_I \cdot D \quad (11)$$

kde

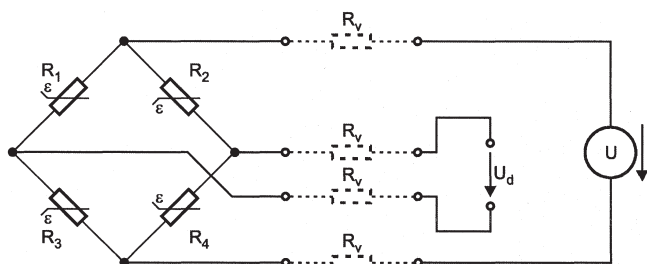
$$K_I = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$



a) trojvodičové pripojenie s jedným tenzometrom (štvrtmostík)



b) trojvodičové pripojenie s dvomi tenzometrami (polmostík)



c) štvorvodičové pripojenie so štyrmi tenzometrami (plný mostík)

Obr.5 Tenzometrické mostíky**Príklady zapojenia tenzometrov do mostíka (obr. 5)**

- a) – R_1 merací (aktívny) tenzometer,
– R_2, R_3, R_4 presné, teplotne nezávislé odpory,
– zapojenie podľa obr. 5a.

V tomto zapojení sa prejavuje najmä teplotná závislosť meracieho tenzometra. Pri kovovom aktívnom prvku je vhodné použiť tzv. samokompensujúci tenzometer. Pri polovodičových sa táto metóda dá uplatniť len pri type N . Chybu linearity nie je potrebné zohľadňovať pri kovových tenzometroch do $\varepsilon \leq 3 \cdot 10^{-3}$. V ostatných prípadoch (kovové aj polovodičové tenzometre) sa musí prevodová charakteristika linearizovať v analógovej alebo číslicovej časti spracovania signálu.

- b) – R_1 merací (aktívny) tenzometer,
– R_3 kompenzačný tenzometer,
– $R_2 = R_4 = R$ presné, teplotne nezávislé odpory,
– zapojenie podľa obr. 5b.

Kompenzačný tenzometer je vyberaný (párovaný) tak, aby mal podobné vlastnosti ako merací tenzometer, t. j. zhodné charakteristické parametre. Je prilepený rovnakým lepidlom na rovnaký materiál (podložku), je rovnako ovplyvňovaný teplotou okolia ako merací, len nie je mechanicky namáhaný. Kompenzačný tenzometer má byť umiestnený čo najbližšie k meraciemu tenzometru tak, aby bolo zachované rovnaké teplotné pole tenzometrov. Tým sa aj nepriamo potláča vplyv odporov prívodných vedení a v prípade použitia striedavého mostíka, aj vplyv parazitných kapacít a prívodov.

- c) – R_1 merací tenzometer namáhaný ťahom,
– R_3 merací tenzometer namáhaný tlakom,

- $R_2 = R_4 = R$ presné, teplotne nezávislé odpory,
– zapojenie opäť podľa obr. 5b.

Diferenciálne zapojenie meracích tenzometrov zvyšuje citlivosť na dvojnásobok, kompenzuje chybu linearity v okolí pracovného bodu a kompenzuje aj vplyv teplotnej závislosti pri rovnakých vlastnostiach meracích tenzometrov (vyberané tenzometre). Zapojenie je vhodné aj pre polovodičové snímače. Chyba merania pri napájaní Wheatstonovho mostíka s dvomi aktívnymi vetvami s polovodičovými tenzometrami pri vhodne navrhnutom mostíku je menšia ako 1.

- d) – $R_1 = R_4$ meracie tenzometre namáhané ťahom,
– $R_2 = R_3$ meracie tenzometre namáhané tlakom,
– $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ (pri $\varepsilon = 0$)
– zapojenie podľa obr. 5c.

Je to veľmi často používané zapojenie pri polovodičových tenzometroch (v protitahových vetvách sú zapojené tenzometre s rovnakou polaritou zmeny odporu), napr. pri piezoelektrických snímačoch tlaku. Ich nastavenie a potlačenie poruchových vplyvov bolo uvedené v [2].

Okrem týchto zapojení sa používajú aj potenciometrické a porovnávacie metódy, ktoré však nebývajú v automatizačných prostriedkoch časté [1].

Literatúra

- [1] ŠTURCEL, J.: Snímače a prevodníky. Bratislava, STU 2002. IS-BN 80-227-1712-6
[2] ŠTURCEL, J.: Meranie tlaku a tlakovej diferencie. AT&P journal, 6, 1999, s. 17 - 19.
[3] MORRIS, A. S.: Principles of Measurement and Instrumentation. Prentice Hall (GB) 1996, pp. 470. ISBN 0-13-489709-9
[4] NIEBUHR, J., LINDNER, G.: Physikalische Meßtechnik mit Sensoren. Oldenbourg Verlag 1994. 523 s. ISBN 3-486-21948-0
[5] ZEHNULA, K.: Čidla robotů. Praha.
[6] KLEMENTEV, I., KYŠKA, R.: Elektrické meranie mechanických veličín. Bratislava, Alfa 1991. 328 s.
[7] Odborné periodiká: Technisches Messen (D), Sensors, Peterborough (USA), Automatizace, Praha (CZ), AT&P journal, Bratislava (SK), AUTOMA, Praha (CZ).

Pokračovanie v budúcom čísle.

doc. Ing. Ján Šturcel, CSc.

**Fakulta elektrotechniky a informatiky STU
Ilkovičova 3
812 19 Bratislava
Tel.: +421/2/6029 16 78
e-mail: jan.sturcel@kar.elf.stuba.sk**