



Neistoty merania elektrických veličín (3)

Skôr, ako budeme pokračovať v stanovovaní neistôt trochu zložitejších modelov merania, pripomenieme si dôležitý rozdiel medzi neistotami typu A a typu B. Charakteristickou vlastnosťou neistôt typu A je, že ich hodnoty s rastúcim počtom opakovaných meraní klesajú, kým hodnoty neistôt typu B od počtu opakovaných meraní nezávisia.

Zjednodušene môžeme tvrdiť, že sa dá dosiahnuť ľubovoľne malá neistota typu A; stačí urobiť príslušne veľa meraní. To je síce teoreticky pravda, ale:

- niektoré merania trvajú veľmi dlho a ich mnohonásobné opakovanie prakticky nie je možné; príkladom môže byť kalibrácia alebo overovanie elektromera;
- aj keby sme mali k dispozícii ľubovoľne veľa času, podmienky merania a merané veličiny by sa počas meraní menili (okrem laboratórnych meraní); čo je výsledkom opakovaného merania meniacej sa veličiny pri meniacich sa podmienkach merania?

Pravdou však zostáva, že veľkosť neistoty typu A môže experimentátor dosť podstatne ovplyvniť – zmenšiť principiálne jednoduchým spôsobom. Stanovovanie neistôt typu B vyžaduje náročnejšie úvahy a výrazne závisí od vedomostí a skúseností experimentátora. Výsledkom zložitejšieho a správnejšieho vyhodnotenia neistôt typu B je pritom veľmi často, nie však vždy, väčšia hodnota neistoty. Napriek tomu môže byť výsledok takto vyhodnoteného merania lepší. Pokúsime sa to ilustrovať na nasledujúcich príkladoch. Vzhľadom na uvedené porovnanie neistôt typu A a typu B sa obmedzíme na stanovenie neistoty typu B.

Nepriame meranie jednej veličiny s uvážením ďalších zdrojov neistoty

Príklad 6:

Meranie odporu voltampérovou metódou s uvážením spotreby meracích prístrojov.

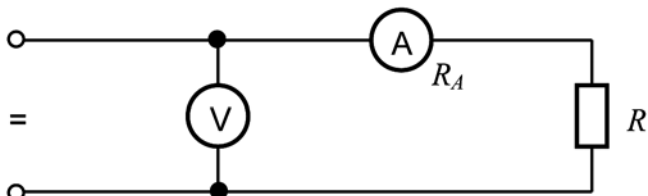
Magnetoelektrickým voltmetrom triedy presnosti 1 sme na rozsahu 12 V namerali na neznámom odpore napätie 6 V. Číslcovým multimetrom s deklarovanou maximálnou chybou $\pm (0,1\% \text{ z rozsahu} + 0,2\% \text{ z údajov})$ sme na rozsahu 200,0 mA namerali prúd pretekajúci týmto odporom 50,0 mA. Aká je hodnota neznámeho odporu a aká je jej neistota?

V predchádzajúcom príklade 5 sme vyriešili túto istú úlohu bez uváženia spotreby meracích prístrojov.

Výsledkom bola hodnota odporu s rozšírenou neistotou s koeficientom rozšírenia $k_u = 2$ s uvážením len neistoty typu B.

$$R = 120 \Omega \pm 2,4\% \quad \text{resp.} \quad R = (120 \pm 2,9)\Omega \quad (34)$$

Ak chceme do modelu merania zahrnúť aj spotrebu meracích prístrojov, teda vplyv ich vnútorného odporu na výsledok merania a jeho neistotu, musíme v prvom rade poznať schému zapojenia tohto merania.



Obr.1 Voltampérová metóda merania odporu

Pre jednoduchosť predpokladajme zapojenie podľa obr. 1. V tomto prípade vstupuje do výpočtu meraného odporu vnútorný odpor ampérmetra R_A . Podľa výrobcu ampérmetra má na použitom rozsahu hodnotu 1Ω s maximálnou chybou $\pm 10\%$.

Pomer údajov voltmetra a ampérmetra je rovný súčtu meraného odporu R a odporu ampérmetra R_A . Hodnotu neznámeho odporu s korekciou spotreby ampérmetra označenú R_{kor} teda vypočítame podľa jednoduchého vzťahu:

$$R_{kor} = \frac{U}{I} - R_A = \frac{6 \text{ V}}{50 \text{ mA}} - 1 \Omega = 119 \Omega \quad (35)$$

Štandardné neistoty typu B nameraného napätia a prúdu sme vypočítali už v príklade 5.

$$u_{BU} = \frac{0,12}{\sqrt{3}} = 0,0693 \text{ V} \quad u_{BI} = \frac{0,3}{\sqrt{3}} = 0,173 \text{ mA} \quad (36)$$

Oproti príkladu 5 pribudol tretí zdroj neistoty typu B, a to hodnota vnútorného odporu ampérmetra. Jeho štandardná neistota typu B je podľa (12)

$$u_{BR_A} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,0577 \Omega \quad (37)$$

Pretože napätie a prúd sú merané dvoma rôznymi meracími prístrojmi dokonca úplne iného typu, môžeme odôvodnene predpokladať, že medzi chybami merania napätia a prúdu nie je žiadna korelácia. Vo výpočte neznámeho odporu pribudol parameter R_A . Vo vzťahu (30) pre výslednú štandardnú neistotu typu B meraného odporu pribudne zodpovedajúci tretí člen:

$$u_{BR_{kor}} = \sqrt{\sum_{j=1}^2 A_{x_j}^2 \cdot u_{Bx_j}^2 + A_{v_1}^2 \cdot u_{v_1}^2} = \sqrt{A_U^2 \cdot u_{BU}^2 + A_I^2 \cdot u_{BI}^2 + A_{R_A}^2 \cdot u_{BR_A}^2} \quad (38)$$

Prevodové koeficienty A_U a A_I sa oproti príkladu 5 zhodou okolností nezmenili.

$$A_U = \frac{\partial R_{kor}}{\partial U} = \frac{1}{I} = \frac{1}{50 \text{ mA}} \quad A_I = \frac{\partial R_{kor}}{\partial I} = -\frac{U}{I^2} = -\frac{6 \text{ V}}{(50 \text{ mA})^2} \quad (39)$$

Prevodový koeficient A_{R_A} jednoducho vypočítame podľa vzťahu (19):

$$A_{R_A} = \frac{\partial R_{kor}}{\partial R_A} = -1 \quad (40)$$

Teraz už stačí len dosadiť do rovnice (38) výsledky výpočtov (36), (37), (39) a (40).

$$u_{BR_{kor}} = \sqrt{\left(\frac{1}{50 \text{ mA}}\right)^2 \cdot (0,0693 \text{ V})^2 + \left(\frac{6 \text{ V}}{(50 \text{ mA})^2}\right)^2 \cdot (0,173 \text{ mA})^2 + (-1)^2 \cdot (0,0577 \Omega)^2} = 1,448 \Omega \quad (41)$$

Relatívna výsledná štandardná neistota typu B meraného odporu bude:

$$u_{BR_{kor}} = \frac{1,448 \Omega}{119 \Omega} = 0,01217 = 1,217 \% \quad (42)$$

Výsledok toho istého nepriameho merania odporu voltampérovou metódou, ale so započítaním vplyvu meracieho prístroja spolu s rozšírenou neistotou s koeficientom rozšírenia $k_u = 2$ s uvážením len neistoty typu B môžeme po príslušnom zaokrúhlení zapísať v tvare:

$$R_{kor} = 119 \Omega \pm 2,5 \% \quad \text{resp.} \quad R_{kor} = (119 \pm 2,9) \Omega \quad (43)$$

Ako sa líši výpočet v príkladoch 5 a 6? Aké sú plusy a aké mínusy?

1. Zložitosť

Prvý výpočet je jednoduchší. Nárast zložitosti výpočtov pri zohľadnení systematických chýb a ďalších známych vplyvov môže byť malý (ako v našom príklade), väčší (stačilo by pri meraní prehodiť poradie voltmetra a ampérmetra) alebo extrémne veľký (typicky pri vyhodnocovaní neistôt primárnych etalónov). Závisí od cieľa merania, či je nárast zložitosti vyhodnotenia akceptovateľný alebo nie.

2. Správnosť merania

Ak pod správnosťou merania rozumieme blízkosť jeho výsledku skutočnej hodnote meranej veličiny (aj o tomto sa často diskutuje), potom by mal zložitejší model merania viesť k správnejšiemu výsledku. Závisí od „kvality“ experimentátora, či sa tento cieľ naplní. Pri nesprávnom započítaní ovplyvňujúcich veličín môže byť „korigovaný“ výsledok aj horší. V našom prípade sa snáď zhodneme, že korekcia je správna. Korekcia spôsobila zmenu výsledku merania o 1Ω , čo predstavuje skoro 1% nameranej hodnoty. Nezapočítanie odporu ampérmetra v príklade 5 teda spôsobilo systematickú chybu tejto veľkosti.

3. Neistota merania

Korekcia systematickej chyby v príklade 6 túto chybu odstránila, ale nie dokonale, lebo odpor ampérmetra nepoznáme „úplne presne“. Neistota poznania odporu ampérmetra spôsobila, že korigovaný výsledok merania má väčšiu neistotu. V našom prípade sme uvažovali maximálnu chybu odporu ampérmetra $\pm 10 \%$, čo je veľmi veľká chyba. Napriek tomu sa táto chyba v hodnote neistoty typu B výsledku merania takmer vôbec neprejavila (ak sa autor nepomýlil) a prakticky sa stratila pri zaokrúhľovaní. Pomer medzi veľkosťou korekcie systematickej chyby a nárastom neistoty výsledku merania, samozrejme, nemusí byť vždy taký priaznivý.

Celý článok Neistoty merania (3) s uvedením ďalších plusov a mínusov vykonaných meraní a opisom nepriameho merania jednej veličiny s uvážením korelácií si môžete prečítať na www.atpjournal.sk v online vydaní tohto čísla.

doc. Ing. Peter Kukuča, CSc.

Slovenská technická univerzita
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra merania
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava
e-mail: peter.kukuca@stuba.sk