

Digitální multimetry a nejistota měření

doc. Ing. Jiří Horský, CSc., Dr. Ing. Pavel Horský

Úvod

Autoři tohoto článku od doby, kdy se u nás začalo pracovat s nejistotami měření místo s chybami měření, vznesli velmi mnoho dotazů u výrobců přístrojů i u jejich obchodních zástupců na vztah jejich specifikací a nejistoty měření. S výjimkou firmy [4], kde jsou specifikace jasně vyjádřeny jako nevyložená systematická chyba, se nepodařilo téměř nikdy získat vyčerpávající odpověď. Některé konkrétnější závěry lze udělat z programů ke kalibraci významných firem, kde, jestliže má být učiněn závěr o plnění specifikace, je nutné do programu zadat konkrétní údaje. Proto je tato otázka probrána v následujícím textu podrobněji. V článku je čerpáno z informací, které firmy volně uveřejnily na internetu v době jeho psaní, tj. v letech 2009 a 2010.

DMM

Digitální multimetr (DMM) je v současné době nejrozšířenějším elektronickým měřicím přístrojem. Je to dáno jeho univerzálností a dostupností. Multimetry se v současnosti vyrábějí ve velkém množství a širokém rozpětí cen i přesností. DMM lze koupit za 60 korun, ale i za 600 000



Obr. 1. Příklady kapesních DMM

korun. To je dáno obrovským rozsahem dosahovaných parametrů a jejich přesností. Levné DMM měří a zobrazují výsledek na 3½ míst (digitů), přesné až na 8½. S tím souvisí i velké rozdíly v udávané přesnosti, na rozsahu stejnosměrného napětí od 1 % po méně než 0,001 %.

Specifikace přesnosti DMM

Specifikace přesnosti DMM není sjednocena a záleží vždy na výrobcu. Většinou je specifikace nadepsána **accuracy**. V mnoha případech však není možné získat od výrobce žádnou bližší informaci, co je pod pojem accuracy ve specifikaci míněno, ale způsobem zápisu je v podstatě vždy specifikace DMM udána dvěma složkami. Například pro konkrétní DMM s rozlišením 5½ digitů je udána specifikace $\pm(0,016\% \text{ ze čtení} + 3 \text{ digitů})$. Co to znamená? První část, 0,016 % ze čtení (někdy psané MH, to je z měřené hodnoty), je složka nejistoty nebo chyby, která je úměrná naměřené hodnotě (je tvořena např. nepřesností zesílení nebo dělivosti vstupních děličů). V tomto případě to znamená, že hodnota bude zobrazena v rozmezí $\pm 0,016\%$ od skutečné hodnoty. Jestliže přístroj zobrazí čtení 1,000 00 V, skutečné napětí může být kdekoli mezi 0,999 84 V a 1,000 16 V. Druhá část specifikace, ± 3 digitů (někdy psáno v relativních jednotkách jako MR, to je z měřené hodnoty), počítá s nejméně významnou číslicí a různými nepotlačenými ofsety. Je v rámci rozsahu nezávislá na měřené hodnotě. V uváděném příkladu nebude větší než $\pm 0,000 03$ V. Kombinace obou složek dává skutečnou toleranci měření od 0,999 81 V do 1,000 19 V.

Přes obrovské rozšíření přístrojů tohoto typu nebylo dosud dosaženo sjednocení udávání parametrů DMM.

Proto zde bude ukázáno a porovnáno udávání specifikací na příkladu nejmenšího rozsahu pro měření stejnosměrného napětí. Výklad není určen k porovnání vlastností DMM, ale jen k porozumění vlastnostem přístrojů posuzovaných podle specifikace, běžně dostupné na internetu.

Pro příklad k výkladu bude u všech DMM zvolen jejich nejmenší rozsah při měření stejnosměrného napětí.

Malé příruční DMM do 4½ digitů

Téměř vždy je specifikace udávána velmi podobně, např. pro nejlevnější 3½ dig. DMM Haoyue řady DT 830 (jen pro zajímavost, tento výrobce ročně vyrobí 2 000 000 multimetrů).

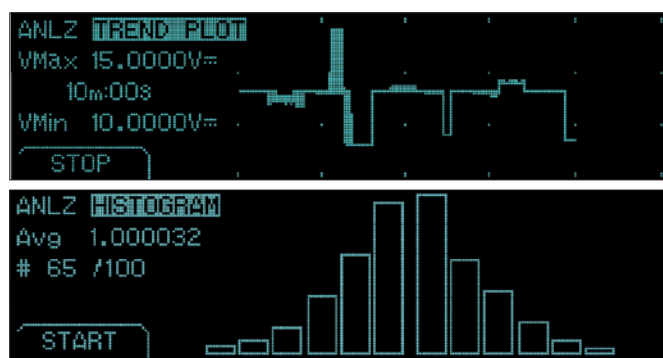
DMM Haoyue řady DT 830 mají specifikaci udanou jako accuracy (přesnost).

Rozsah	% ze čtení + digity
200 mV	0,25 + 2 digity

Specifikace je udána pro $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$, vlhkost do 75 % po dobu jednoho roku. Ostatní výrobci postupují obdobně.



Obr. 2. Příklady stolních DMM



Obr. 3. Moderní DMM zobrazí i zjednodušený graf trendu a rozložení výsledků měření

ANALYZE	STATS				
Min	1.285972	Avg	1.610871	#	182
Max	1.615092	SD	30.4891m	/	50000
STOP	#SAMPLES				

Obr. 4. Zobrazení min. a max. mezi a rozptylu usnadní vyhodnocení měření

Stolní DMM do 6½ digitů

Stolní DMM prodělaly velký vývoj a nové typy jsou velmi dobře připraveny pro snazší vyhodnocení měření, jak ukazují obr. 3 a obr. 4.

Příklady specifikací pro 6½ dig. DMM

Picotech M 3500A

Mají specifikaci udanou jako accuracy (přesnost).

Rozsah	% ze čtení + % z rozsahu
Podmínka	doba ohřevu 2 h a nastavení 6½ digitu
100 mV	0,005 + 0,0035

Bez upřesnění, co je míněno pojmem accuracy.

Agilent 34401A Multimeter

Mají specifikaci udanou jako accuracy (přesnost).

Rozsah	% ze čtení + % z rozsahu
Podmínka	(23 ± 5) °C
100 mV	0,005 + 0,0035

Bez upřesnění, co je míněno pojmem accuracy, ale v návodu k použití na str. 233 je uvedeno, že DMM byl navržen a nastaven ve výrobě podle specifikace *průměrná naměřená hodnota ± 4 sigma*, tzn. pravděpodobnost chyby je jen 0,006 %. O době platnosti této specifikace není v dokumentaci zmínka.

Tektronix DMM4050

Mají specifikaci udanou jako accuracy (přesnost).

Rozsah	% ze čtení + % z rozsahu
Podmínka	(23 ± 5) °C, po dobu 1 roku
100 mV	0,0037 + 0,0035

Bez upřesnění, co je míněno pojmem accuracy.

Keithley 2000

Mají specifikaci udanou jako accuracy (přesnost).

Rozsah	% ze čtení + % z rozsahu
Podmínka	(23 ± 5) °C, po dobu 1 roku, ohřev 55 min
100 mV	0,0050 + 0,0035

V poznámkách jsou udány další vlivy jako složky nejistoty. Nikde ale není zmínka, zda je accuracy míněna i ve specifikaci jako nejistota a pro jakou úroveň pravděpodobnosti.

Etalonové DMM 8½ dig

DMM Fluke 8508A

Mají specifikaci udanou jako nejistotu pro normální režim čtení.

Rozsah	nejistota relativně k etalonům	absolutní nejistota
200 mV	nejistoty jsou uvedeny s činitelem rozšíření $k = 2$	
Podmínka doba	pro 365 dnů	pro 365 dnů
Podmínka teplota	±1 °C od teploty při kalibraci	±1 °C od teploty při kalibraci
Podmínka ohřev	4 h, max. rozlišení	4 h, max. rozlišení
	ppm čtení + ppm z rozsahu	ppm čtení + ppm z rozsahu
200 mV	2,7 + 0,5	5 + 0,5

V případě Fluke 8508A tedy zřejmě jde o přístrojovou nejistotu udanou pro úroveň pravděpodobnosti 95 %.

Keithley 2001

Mají specifikaci udanou jako accuracy (přesnost).

Rozsah	% ze čtení + % z rozsahu
Podmínka	(23 ± 5) °C, po dobu 1 roku, ohřev 55 min
100 mV	0,0037+0,0006

V poznámkách jsou udány další vlivy jako složky nejistoty. Nikde ale není zmínka, zda je accuracy míněna i ve specifikaci jako nejistota a pro jakou úroveň pravděpodobnosti.



Obr. 5. Ukázka přesných (etalonových) DMM

Výklad pojmu accuracy ve specifikaci

Jak výrobci směřují přesnost a nejistotu, ukazuje odpověď na dotaz, jak se spočítá nejistota pro měření 1 000 V (uvedená na internetu pro měření s DMM Model 2000).

(Pro ilustraci je uveden přímý překlad odpovědi, jak je výrobcem formulována.)

Roční specifikace přesnosti na 1 000 V rozsahu je pro tento DMM udána jako ±(45 ppm ze čtení + 6 ppm z rozsahu). Kromě toho je v poznámce uvedeno pro tento rozsah, že „Pro úroveň signálu >500 V přidejte 0,02 ppm/V nejistoty pro část napětí přesahující 500 V.“

Předpokládejme, že měříme 1 000 V.

1. Výpočet dodatečné nejistoty pro 1 000 V signál: „Pro úroveň signálu >500 V přidejte 0,02 ppm/V nejistoty pro část přesahující 500 V“, to je $0,02 \text{ ppm/V} \times (1\,000 \text{ V} - 500 \text{ V}) = 10 \text{ ppm}$. $10 \text{ ppm z } 1\,000 \text{ V rozsahu} = (10 \times 1\,000) / 1\,000\,000 = 10 \text{ mV}$
2. Celková nejistota na 1 000 V na 1 000 V rozsahu je potom: $\pm(45 \text{ ppm MH} + 6 \text{ ppm z rozsahu} + \text{další nejistoty})$
 $45 \text{ ppm} \times 1\,000 \text{ V} + 6 \text{ ppm} \times 1\,000 \text{ V} + 10 \text{ mV}$, a tedy výsledek je $45 \text{ mV} + 6 \text{ mV} + 10 \text{ mV} = 61 \text{ mV}$
Výsledek je, že měřený signál bude ležet mezi hodnotami 999,939 V až 1 000,061 V.

Metody určování nejistoty

Zda jde o specifikaci chyby nebo nejistoty, určuje rozdíl ve výsledku nejistoty měření s DMM, proto je třeba tuto otázku upřesnit. Zveřejněné specifikace, jak bylo zmíněno dříve, jsou nejčastějším zdrojem nejistoty údajů používaných v komerčních kalibračních laboratořích. Pro specifikaci lze nejčastěji uvažovat obdélníkové nebo, především u nejpřesnějších DMM, normální rozložení.

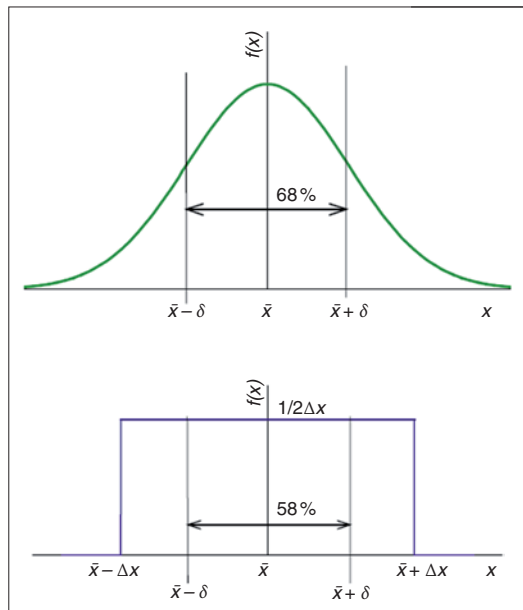
V minulé části, věnované práci kalibračních laboratoří, byl uveden následující odstavec, který je dobré si znovu připomenout v souvislosti s DMM:

Obdélníkové rozdělení se používá tam, kde je rovná pravděpodobnost měření, vyskytující se v závazných limitech specifikací. Tento typ rozdělení je obvykle spojen se specifikacemi výrobce, mimo nejpřesnější přístroje. Lze doporučit použití obdélníkové rozložení, není-li rozdělení podrobněji známo. Předpoklad obdélníkového rozdělení umožní laboratoři chybovat na konzervativní straně, tedy uvést nejistotu větší, než je skutečná. Je-li třeba převést specifikace na obdélníkové rozdělení typu B, pro stanovení nejistoty se specifikace dělí druhou odmocninou ze tří, a tím se dojde ke standardní nejistotě.

Malé příruční DMM do 4½ dig

Je-li accuracy možné chápat jako chybu s obdélníkovým rozložením, což je obvyklé v podstatě pro všechny kapesní DMM, přístrojová

nejistota se získá vynásobením specifikace činitelem 1,15 (jestliže je nejistota kalibrace zanedbatelná, a to není pro malé DMM problém). Protože v podstatě všechny mají udanou specifikaci pro pracovní teplotu $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$, bude pro běžná měření v místnosti *pracovní přístrojová nejistota* $\approx 1,15 \times$ (*accuracy udaná pro DMM*).



Obr. 6. Nejdůležitější je normální rozdělení, vyskytující se ve většině měření v praxi, a rovnoměrné rozdělení, často používané u specifikací pro své zřetelně určené hranice

Etalonové DMM 8½ digitu

Specifikace podle výrobce většinou zahrnuje i návaznost výrobce na národní etalony. O té zákazník nic neví, proto musí předpokládat, že nejistota navázání je tak malá, že neovlivní parametry přístroje a tyto parametry charakterizují skutečné vlastnosti kalibrátoru. U mimořádně přesných přístrojů, jako jsou např. 8½místné multimetry, bývá někdy specifikace udána jen jako parametr stability, návaznost není ve specifikaci uvažována a musí se započítat samostatně (pokyny, jak se přičte, se liší, např. Agilent udává lineární součet, ale teoreticky správně stačí geometrický součet, to je odmocnina ze součtu kvadrátů složek).

Specifikace pomocí mezní chyby je nejčastější u dříve vyvinutých přístrojů, ale ne jediná možná. Specifikace přístrojovou nejistotou se udává pro zvolené k , např. Fluke 8508A má specifikace pro přístrojovou nejistotu pro $k = 2$, to je úroveň pravděpodobnosti 95 %, ale i pro $k = 3$, úroveň pravděpodobnosti 99 %.

Specifikace může být udána jako absolutní i jako relativní (parametr stability za zvolenou dobu).

Závěr

Nejsou-li známy podrobnosti o rozložení výsledků, není chyba uvažovat pravoúhlé rozdělení, které dává konzervativní hodnoty; skutečná nejistota bude menší a bude ležet uvnitř udaných mezí. Přepočítání podle činitele k nebo udané pravděpodobnosti umožní pro udanou úroveň pravděpodobnosti 95 % použít udaná čísla specifikace přímo, pro jiné k je třeba postupovat opatrně, nastavení ve výrobě pro $k = 4$ ještě nemusí znamenat, že by toto byla i roční specifikace. Někdy mohou být pomůckou hodnoty, které výrobce zadal do programu, se kterým se vyhodnocují automatizované kalibrace, často to bývá pro $k = 3$.

V podstatě všechny DMM mají specifikaci udanou pro pracovní teplotu $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$. Při obvyklém použití v kanceláři a laboratoři, tj. v podstatě pro všechny kapesní a velkou část laboratorních DMM, se přístrojová nejistota získá vynásobením specifikace činitelem 1,15 (je-li nejistota kalibrace zanedbatelná, a to je pro kapesní DMM téměř vždy a pro laboratorní DMM do 6½ digitů to také obvykle není problém).

Literatura:

- [1] ČSN EN 60359 *Elektrická a elektronická měřicí zařízení – Vyjadřování vlastností.*
- [2] EURACHEM/CITAC Guide: *Use of uncertainty information in compliance assessment.* First edition, 2007.
- [3] LUCANO, M.: *Differences in Guard Banding Strategies A Beginner's Guide.* Dostupné na <http://www.agilent.com/metrology/>.
- [4] <http://www.meatest.cz>
- [5] http://www.all-sun.com/china_digital_multimeter/dt830_manufacturers.htm
- [6] <http://www.picotest.com.tw/download.html>
- [7] <http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?pn = 34401A>
- [8] http://www.tek.com/products/digitalmultimeters/dmm4050_dmm4040/
- [9] <http://www.keithley.com/products/dcac/dmm/broadpurpose/?mn = 2000>
- [10] <http://us.fluke.com/fluke/usen/calibration-instruments/standard-laboratorymeters/8508a.htm?PID = 55424>

Stolní DMM do 6½ dig

Zde je situace mnohem rozmanitější a často je nutné pečlivě číst celou dokumentaci výrobce. Specifikace je ale uváděna téměř vždy bez upřesnění, takže lze konzervativně předpokládat, že jde o nevyloženou chybu. Možné je ještě udání specifikace pro úroveň pravděpodobnosti 95 nebo 99 %, někdy i pro výrobní kontrolu na úrovni $k = 4$.

Příklad: stanovení přesnosti měření pro měření $U = 100$ mV na rozsahu 100 mV

Uvažuje se, že specifikace DMM je 0,005 % ze čtení + 0,005 % z rozsahu, to je pro 100 mV 0,01 % (nebo 10 μV).

Specifikace je 0,005 % ze čtení + 0,005 % z rozsahu					
100 mV na rozsahu 100 mV	Rozložení udané specifikace	Udané specifikace (%)	k	Násobitel	Přístrojová nejistota (μV)
0,01 %	obdélník	není upřesněno	-	1,15	12
	normální	95	-	1	10
	normální	99	-	0,775	7,8
	normální		3	0,66	6,6
	normální		4	0,5	5

Den otevřených dveří v OEZ. V rámci oslav 70 let od založení firmy se v sobotu 21. května 2011 uskutečnil v letohradském areálu OEZ *Den otevřených dveří*. A protože ve stejném termínu probíhala v Letohradě i tradiční – již 298. *Kopečková pouť*, stal se den otevřených dveří v OEZ další atrakcí pouti.



Celkem 2 019 návštěvníků absolvovalo trasu: Nástrojárna – Lisovna plastů – Nová hala ACB (vzduchové jističe) – Montáž MCCB (kompaktní jističe) – Prvovýroba – Administrativní budova.

Každý návštěvník obdržel drobný dárek v podobě pexesa, které připomínalo

70 let firmy, mohl se v areálu občerstvit, děti využívaly dětský koutek, kde malovaly nebo sledovaly pohádky.

OEZ je dodavatelem produktů a služeb v oblasti jištění elektrických obvodů a zařízení nízkého napětí. Jeho produkty nacházejí uplatnění v průmyslu, infrastruktuře, energetice i bytové výstavbě. Firma je od roku 2007 součástí celosvětového koncernu Siemens. Zaměstnává téměř 1 800 pracovníků.