

Česká metrologická společnost, z.s.

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

tel/fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.csvts.cz/cms

Kalibrační postup

KP 4.1.2/07/18

**ODPOROVÁ DEKÁDA
(Dekádový odpor)**

Praha

prosinec 2018

Vzorový kalibrační postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2018

Číslo úkolu: VII/2/18

Zadavatel: Česká republika – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, organizační složka státu

Řešitel: Česká metrologická společnost, z.s.

Zpracoval: doc. Ing. Jiří Horský, CSc.,

© ÚNMZ, ČMS

Neprodejné: Metodika je volně k dispozici na stránkách ÚNMZ a ČMS. Nesmí však být dále komerčně šířena.

1.



1 Předmět kalibrace

Tento kalibrační postup je určen pro kalibraci odporových dekád následujících rozsahů a dovolených chyb:

- Kalibraci pro DC R.
- Rozsah nastaveného odporu odporové dekády 0,1 Ω , až 1,11 111 M Ω .
- Dovolená chyba elektrického odporu 0,01 % a horší.
- Napětí při kalibraci menší nebo rovné 100V.

Tento postup je určen pro typy dekád:

A - s pasivními odpory řazenými v sérii a přepínanými mechanickým přepínačem (klasické provedení dekády).

B - s pasivními odpory řazenými v sérii nebo paralelně a přepínanými pomocí relé, kde nastavená hodnota je řízena výpočetní technikou.

C - přesný simulátor teplotních odporových snímačů (RTD). Přesný simulátor teplotních odporových snímačů s rozsahem 10 Ω až 400 k Ω . Může být řešen jako výše uvedený typ A nebo B. (CA, CB).

D - simulátory odporu, jak se vyskytují například v multifunkčních kalibrátorech.

E násobiče odporu založené na dvoubranové simulaci T-článkem (P 4085 Rusko, v Fluke 5320A, v Transmille 3000).

Tento kalibrační postup není určen pro variantu F

F - tento postup není určen pro vysokoohmové a vysokonapěťové dekády odporu (protože nedostačuje rozsahem měřených odporů a pracovním napětím při kalibraci).

2 Související normy a metrologické předpisy

TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[1]
ČSN IEC 60050 -300	Mezinárodní elektrotechnický slovník - Elektrická elektronická měření a měřicí přístroje	[2]
ČSN EN ISO/IEC 17025:2018	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních kalibračních laboratoří	[3]
ČSN EN 61010 - 1	Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí laboratorní zařízení. Část 1: Všeobecné požadavky (Zrušená norma)	[4]
EA 4/02	Vyjádření nejistoty měření při kalibracích	[5]
EURAMET cg-15. Version 3.0 (02/2015)	Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters (Pokyny ke kalibraci číslicových multimetrů)	[6]
ILAC - G8:03/2009	Pokyny k uvádění shody se specifikací	[7]
Procedimiento EL-003. Edición digital 1	PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE CAJAS DE DÉCADAS DE RESISTENCIA, Centro Español de Metrología Tres Cantos, Madrid	[8]
EA 04/07	Návaznost měřicího a zkušebního zařízení na státní etalony	[9]

3 Kvalifikace pracovníků

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci měřidel je dána příslušným předpisem organizace. Laboratoř musí dokumentovat požadavky na kompetenci pro každou funkci mající vliv na výsledky laboratorních činností, včetně požadavků na vzdělání, kvalifikaci, výcvik, technické znalosti, dovednosti a zkušenosti.

Laboratoř musí zajistit, aby pracovníci měli kompetenci pro provádění laboratorních činností, za které odpovídají a musí umět vyhodnotit přítomnost a dosah odchylek měření. Tito pracovníci by měli být seznámeni s tímto kalibračním postupem a dále s normami, popř. předpisy uvedenými v tomto kalibračním postupu.

Vedení laboratoře musí informovat pracovníky o jejich povinnostech, odpovědnostech a pravomocích a musí mít postup (postupy) a uchovávat záznamy o pravomocích pracovníků, výcviku pracovníků, dohledu nad pracovníky. Laboratoř musí pověřovat pracovníky k provádění specifických laboratorních činností včetně, ale nikoliv výlučně k uvádění, přezkoumávání a schvalování výsledků, analýzy výsledků, včetně prohlášení o shodě nebo stanovisek a interpretací.

Pokud se kalibrace dělá zřídka, je vhodné zařadit do plánu vzdělávání kontrolní opakovací měření.

Na pracovníky provádějící kalibraci jen podle tohoto postupu nejsou zvláštní požadavky ve smyslu vyhlášky ČUBP č. 50/78 Sb., postačí přezkoušení podle § 4, ale pro kalibraci elektrických měřidel v širším rozsahu musí být osobami znalými s vyšší kvalifikací nej-

lépe podle § 6 pro samostatnou činnost ve smyslu vyhlášky ČUBP č. 50/78 Sb., popřípadě předpisů, které ji nahradí.

4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2), zejména v TNI 01 0115 a v publikacích věnovaných metrologické terminologii.

Vybrané pojmy a jejich vysvětlení

Odporové dekády se často vyznačují vysokou přesností a stabilitou svých parametrů. Základní přesnost až 0,01 % umožňuje jejich použití v oblasti precizních měření. Jsou používány tam, kde je zapotřebí stabilního odporu s vysokou přesností. Typické aplikace jsou kalibrace odporových rozsahů multimetrů, simulace odporových snímačů teploty, kalibrace Wheatstoneových můstků, kalibrace tenzometrických vyhodnocovacích jednotek, měření v kalibračních laboratořích apod.

Odporové dekády tvoří samostatné celky anebo jsou součástí složitějších odporových zařízení (např. odporových můstků, kalibrátorů, odporových děličů napětí apod.). Požadavky kladené na odporové dekády jsou podobné, jako požadavky kladené na etalony odporu (časová stálost, teplotní nezávislost, dostatečná výkonová zatížitelnost). Navíc musí mít dekády malé a dostatečně časově stálé přechodové odpory přepínačů, dobré elektroizolační vlastnosti, jakož i spolehlivé a kvalitní mechanické zhotovení.

Odporová dekáda s pasivními odpory řazenými v sérii a přepínanými mechanickým přepínačem (dekádový odpor) je proměnný odpor, na němž lze odečíst nastavenou hodnotu. Nastavení bývá prováděno obvykle otočnými přepínači nebo u starších konstrukcí i kolíkovými spínači s malým přechodovým odporem. Odporové elementy bývají u starších konstrukcí vinuty z manganinového drátu na keramických tělesech a stabilizovány speciální metodou umělého stárnutí, u novějších foliovými nebo metalizovanými odpory. Přesné mechanicky ovládané odporové dekády jsou přesné univerzální odporové dekády, obvykle 10 mΩ až 1 MΩ. Mají nekompenzovatelný zbytkový odpor R_0 , a nemají možnost justáže odporů.

Počet dekád odporové dekády bývá rozdílný, od jedné a více, nejčastěji jich bývá šest. V tomto případě je odpor dekády složen z odporových elementů obvykle hodnot: $10 \times (0,1 + 1 + 10 + 100 + 1000 + 10\,000) \Omega$ a lze na něm nastavit odpor od 0,1 Ω až do 111 111 Ω.

Tento kalibrační postup popisuje pouze metodu přímého měření s použitím číslicového multimetru ve funkci ohmmetru, neboť tato metoda je v kalibračních laboratořích pro kalibrace běžných dekádových odporů nejčastěji používána a je postačující.

Elektronicky nastavitelná odporová dekáda

je obvykle velmi přesná odporová dekáda s rozsahem odporu od 1 Ω do 1,2 MΩ. Rozlišení na nejnižších rozsazích může být až od 10 μΩ. Dekáda je tvořena velmi stabilními odporovými prvky spínanými do série nebo i paralelně pomocí speciálních relé. Je ob-

vykle vybavena rozhraním (RS232) a lze ji použít v automatizovaných výrobních linkách a kalibračních pracovištích. Dekáda umožňuje definovat libovolné simulované průběhy pomocí převodní tabulky.

Přesný simulátor teplotních odporových snímačů - (RTD) simulátor.

Přesný pasivní simulátor teplotních odporových snímačů (RTD) je obvykle vyráběn s rozsahem 10 Ω až 400 k Ω . Může být řešen jako výše uvedený typ dekády A (CA).

Přesný simulátor teplotních odporových snímačů s rozsahem odporu od 16 Ω až 400 k Ω a rozlišením hodnoty odporu odpovídající 0,001 $^{\circ}\text{C}$ v celém rozsahu obvykle kalibrovatelných teplot. Dálkové ovládání RS232 (volitelně USB, IEEE488, Ethernet). Obsahuje funkce simulace běžně používaných odporových teplotních čidel. Umožňuje naprogramování nových simulovaných funkcí.

Simulátory odporu, jak se vyskytují například v **multifunkčních kalibrátorech (označeno D)** jsou řešeny více elektronicky a jako pasivní odpory používají jen rozsahové odpory

Simulátor velkých hodnot odporu, například typ P 4085

Jmenovitá hodnota je odpor, G Ω : 1, 10, 100, 1000.

Limit přípustné základní chyby,%:

2 - svorkově 1 G Ω : 0,05;

3 - svorkově 10 G Ω : 0,05;

3 - svorkově 100 G Ω : 0,1;

3 - svorkově 1000 G Ω : 0,2.

Jmenovité napětí, V: 100.

Maximální přípustné napětí, V: 500.



TUR (poměr nejistot při kalibraci) je definován: "Poměr rozpětí tolerance měřené hodnoty, která je předmětem kalibrace, na dvojnásobek 95 % rozšířené nejistoty měřícího procesu používaného pro kalibraci."

TUR by měla být pro kalibrace větší nebo rovná 4:1.

Riziko falešného přijetí při kalibraci je obvykle postačující pod 2,5 %. podle 9.5.3 JCGM 106 pro ochranné pásmo U95% (podle ILAC -G8:03/2009).

NPLC 10 doba integrace použitého DMM ve funkci ohmmetru vyjádřená počtem cyklů napájecí sítě (50 Hz). Pro kalibraci se volí obvykle NPLC 10 až NPLC 100.

5 Prostředky potřebné ke kalibraci

Tento pracovní postup platí pro kalibraci odporových dekád stejnosměrným elektrickým proudem pro dekády označené v bodě 1 jako typ **A** a typ **C_A**.

A klasické provedení s pasivními odpory řazenými v sérii (přepíná se otočnými přepínači)

B - s pasivními odpory řazenými v sérii nebo paralelně a **přepínanými pomocí relé, kde nastavená hodnota je řízena výpočetní technikou.** (Ovládá se obvykle tlačítky)

C - Přesný **simulátor teplotních odporových snímačů (RTD).**

Přesný simulátor teplotních odporových snímačů s rozsahem 10 Ω až 400 kΩ. Může být řešen jako výše uvedený typ A (**C_A**) nebo B (**C_B**).

D - pro **simulátory odporu**, jak se vyskytují například v **multifunkčních kalibrátorech** (Ovládá se obvykle tlačítky)

E násobiče odporu založené na dvoubranové simulaci T-článkem (Fluke 5320A, ale i Transmille 3000).

Při kalibraci lze použít některý z následujících etalonů:

Stejnoseměrný číslicový ohmmetr (multimetr) s měřicími rozsahy minimálně 10 Ω až 1MΩ s rozlišovací schopností až 8½ digitu (minimálně 6½ digitu).

Doporučené jsou DMM Fluke 8508A a KEYSIGHT 3458A. Tomu odpovídá základní dovolená chyba měření odporu alespoň 0,0025 % nebo menší.

U každého referenčního DMM musíme dodržet pokyny výrobce pro jeho nastavení pro nejvyšší dosažitelnou přesnost měření.

V závislosti na dovolené základní chybě a rozsahu kalibrované odporové dekády lze použít i etalonové měřidlo větší dovolené chyby a menších rozsahů než je výše uvedeno, v řadě případů vyhoví 6,5 dig DMM.

Etalonové měřidlo použité ke kalibraci odporové dekády musí mít takovou rozlišovací schopnost, aby umožňovalo provádět odečítání údajů s rozlišitelností minimálně 0,1 dovolené chyby kalibrované odporové dekády.

Ke kalibraci jsou dále potřebné následující prostředky:

- Teploměr, s rozlišením min. 0,2 °C, navázaný na etalon,
- vlhkoměr (rozsah 30 % až 90 % relativní vlhkosti), navázaný na etalon,
- propojovací vodiče,
- čisticí prostředky (isopropylalkohol),
- konzervační prostředek (vaselinum album nebo podobně), který musí být dlouhodobě stabilní a nekorosivní.

Největší dovolená základní nejistota etalonového měřidla by měla být vždy v každém proměřovaném bodě minimálně 4x menší než je dovolená nejistota kalibrovaného měřidla (poměr nejistot při kalibraci TUR by měl být větší než 4:1).

Etalonové měřidlo má mít rozlišovací schopnost stupnice (nebo počet číslic), která umožňuje odečítat údaje s rozlišitelností minimálně 0,1 dovolené chyby kalibrovaného měřidla.

Uvedený požadavek platí pro kalibrovaná měřidla s max. zobrazením 5½ dig. až 8½ dig.. Použité etalony musí mít platné kalibrační listy (včetně dodržení ochranného pásma pro dodržení specifikace vlivem možného stárnutí během rekalisační periody).

6 Obecné podmínky kalibrace

Kalibrace se provádí za následujících **referenčních podmínek prostředí**.

- Teplota prostředí: 23 °C ± 1 °C,
- odchylka teploty za hodinu: ±0,5 °C,
- vlhkost vzduchu: 40 % až 60 % relativní vlhkosti.

Ostatní podmínky laboratoře pro kalibraci, to je například vnější magnetické pole a vnější elektrické pole bez významných zdrojů rušení, laboratoř bez oslunění pracovní plochy, vibrací a prašnosti. Referenční podmínky je nutné před zahájením kalibrace, v jejím průběhu a po skončení kalibrace kontrolovat.

Kontrola okolní teploty se provádí teploměry s rozlišitelností alespoň 0,2 °C.

Pro kontrolu vlhkosti se použije vlhkoměr pro měření relativní vlhkosti s rozsahem alespoň 30 % až 90 %.

Podmínky kalibrace – pracovní podmínky, velikost proudu při měření

Obecně se snažíme, aby proud při měření umožnil dostatečnou přesnost měření, ale aby nezpůsobil znatelný ohřev měřeného odporu, který by mohl vést ke změně měřené hodnoty.

7 Rozsah kalibrace

Ustálený zvyk je, že se měří s proudy, které jsou použity u etalonových měřičů ve funkci měření R a obvykle se tyto proudy samostatně neuvádí, protože jsou dány nastavením etalonového DMM, pokud nejsou z nějakých důvodů zvoleny jiné proudy.

Obvyklé je užití jako etalonů přesných 8,5 dig. DMM:

- DMM Keysight 3458A, rozsah měření R do 1 G Ω , měří proudy 0,5 μ A až 10 mA,
- DMM Fluke 8508, rozsah měření R do 20 G Ω , měří proudy 0,01 μ A až 100 mA.

8 Kontrola dodávky a příprava

Při přebírání přístroje ke kalibraci odpovědný pracovník metrologického pracoviště posoudí, zda typ, výrobní číslo a příslušenství dodaného přístroje odpovídá údajům uvedeným na objednávce nebo dodacím listu, provede přezkoumání požadavku (upřesnění rozsahu a způsobu provedení požadovaného metrologického výkonu dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 čl. 7.1). Současně provede jeho předběžnou kontrolu, spočívající ve vnější prohlídce přístroje.

9 Postup kalibrace

- Vnější prohlídka (metodika čl. 9.2)
- Zkouška provozuschopnosti (funkční zkouška, metodika čl. 9.3)
- Vlastní kalibrace (metodika čl. 9.4)

2. Popis jednotlivých zkoušek

9.1 Příprava přístroje ke kalibraci

Před započítím kalibrace se musí vykonat tyto úkony:

Dekáda v provedení A - s pasivními odpory řazenými v sérii

Přeměří se odpor pro nastavení všech přepínačů na 0.

Pokud zákazník požaduje uvést data pro kalibraci i před čištním, provede se kalibrace dle bodu 9.4, potom následuje čištní a po čištní nová kalibrace.

V ostatních případech se nejdříve provede důkladné očistění kontaktů přepínačů dekádového odporu vhodným čisticím prostředkem (isopropylalkohol, obvykle pomocí čisté bavlněné tkaniny). Po očistění se kontakty lehce potřou vazelínou prostou vody a kyselin.

Poznámka: Tento úkon nelze u některých dekádových odporů provést bez větších zásahů, pokud dekádový odpor vykazuje dostatečnou stabilitu (opakovatelnost) při přepínání, je možno tento úkon vypustit.

Po čištní se znovu přeměří odpor pro nastavení všech přepínačů na 0 a naměřený odpor musí být menší nebo stejný než před čištním přepínačů.



Obr. č. 1: Ukázka provedení dekády Metra, u které výrobce předpokládal čištění přepínačů před kalibrací

Propojovací vodiče musí mít dobré vlastnosti s ohledem na termonepětí a izolační odpor. Před zahájením měření je referenční multimetr nahříván po dobu uvedenou ve specifikaci výrobce.

Pro běžná měření lze použít metodu přímého měření odporu číslicovým multimetrem. Nejistota měření je dána především specifikací použitého multimetru. Každý DMM používáme v pomalém režimu, obvykle 10 NPLC až 100 NPLC. Všechny etalonové DMM, jako je například 6,5 dig. DMM typu 4450 a 8849A umožňují měřit odpor přímo čtyřsvorkově, čímž se vyloučí chyby způsobené přívodními vodiči. Některé přesné multimetry pak mají zabudované i funkce na vyloučení termoelektrických napětí, (6,5 dig multimetry, jako je DMM 8846A ale tuto funkci nemají). Tyto funkce jsou označeny jako „TRUE Ohm“ nebo „Offset compensation“. Jsou založeny buď na principu reverzace měřicího proudu (např. Fluke 8508A), kdy se výsledek měření vypočítá z měření úbytku napětí při jedné polaritě proudu a při obrácené polaritě proudu, nebo na principu měření úbytku napětí při procházejícím proudu odporem a následném měření napětí při nulovém proudu (například Wavetek-Datron 1281, Keithley 2002, Agilent –Keysight 3458A). Nahradit true ohm při nejpřesnějších měřeních je možné opakovaným měřením po reverzaci směru proudu přepojením kabelů ke svorkám. Tyto funkce ztrácí smysl pro odpory nad 10 k Ω , kde je obvyklé měřit dvousvorkově a nulovat DMM i s přívodními kabely (se zkratem na konci kabelů).

Doporučení:

- Nastavená doba měření na DMM - slow nebo NPLC 10 až NPLC 100,
- před měřením musí být odporový rozsah DMM pečlivě vynulován,
- po ukončení měření se kontroluje, zda nedošlo k posuvu nulování,
- doporučuje se zvážit použití analogového filtru v DMM,
- doporučuje se zvážit použití digitálního filtru, pokud je jím DMM vybaven,
- nesmí se použít digitální filtr s posuvnou čárkou,
- u DMM 3458A se provede nastavení ACAL a kontrolují se interní teploty

v DMM před a po měření.

9.1.1. Kalibrovaný přístroj (dekáda) se umístí do prostředí s teplotou a vlhkostí vzduchu dle čl. 6 a ponechá se v něm po dobu nejméně 4 hodiny. Pak se přemístí na kalibrační pracoviště.

9.1.2. Kalibrovaný přístroj se připraví na měření v souladu s jeho technickou dokumentací.

9.2 Vnější prohlídka

Zjišťuje se, zda:

- kryt přístroje není poškozen,
- přístroj je vybaven všemi součástkami a příslušenstvím potřebným ke kalibraci,
- všechny technické údaje o přístroji uvedené na štítku nebo přístroji jsou zřetelné a jsou v souladu s dokumentací.
-

9.3 Zkouška provozuschopnosti

Před vlastní kalibrací odporové dekády se provádí její funkční kontrola. Multimetrem se změří, zda dekáda není přerušovaná nebo zkratovaná. Pokud jsou použity kolíkové přepínače, pak se prohlédnou a očistí od prachu, případně se kolíky velmi jemně přebrousí.

Otočné přepínače, pokud jsou k tomu konstruované, se prohlédnou a vyčistí a překonzervují, jak bylo uvedeno výše.

Zjišťuje se, zda:

- přípojovací svorky jsou spolehlivě upevněny, a kontaktní plochy nejsou koro-dované,
- přepínače měřicích rozsahů a funkcí jsou funkční a mají správnou aretaci odpovídající zvolenému rozsahu nebo funkci,
- po připojení na ohmmetr se mění jeho údaj plynule v závislosti na nastavené hodnotě odporové dekády a nedochází k přerušování elektrického obvodu.

9.4 Vlastní kalibrace

Dekády typu A s pasivními odpory řazeným v sérii

9.4.1. Kontrola odporu dekády R_0 pro všechny přepínače v poloze 0.

Měření nulového odporu dekády R_0 se provádí při všech přepínačích kontrolované dekády nastavených na 0 a lze provést jen pro dekády s sériovým řazením odporů.

Kontrola nulového odporu dekády R_0 a její následné odečítání od naměřených hodnot se provádí pro typy dekád podle typu A s pasivními odpory řazenými v sérii a přepínanými mechanickým přepínačem a pro přesný simulátor teplotních odporových snímačů (RTD) s rozsahem 10 Ω až 400 k Ω v provedení jako výše uvedený typ A (C_A).

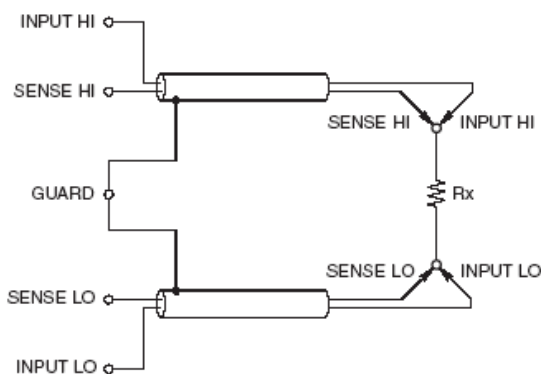
U dekád typu B s pasivními odpory řazeným v sérii nebo paralelně a přepínanými relé, kde nastavená hodnota je řízenými výpočetní technikou se řídíme doporučeným postupem podle výrobce.

Pro simulátory odporu, varianta C, jak se vyskytují například v multifunkčních kalibrátorech se postupuje podle doporučení výrobce a to je obvykle bez měření a odečtu R_0 .

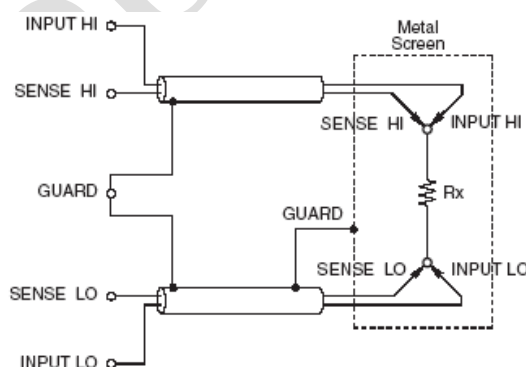
Postup práce při měření R_0

Na svorky měřené odporové dekády se připojí etalonový multimetr ve funkci ohmmetru ve čtyřvodičovém zapojení podle obr. 2, nebo 3, nebo 4. Z uvedených zapojení na obrázku vybereme to, které nejvíce vyhovuje konstrukci a vlastnostem dekády.

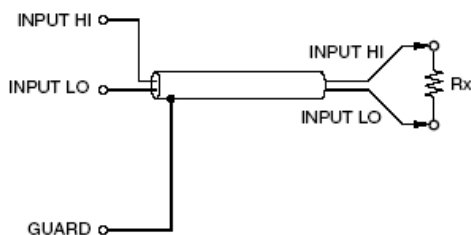
Zkratujeme vhodnými vodiči zvlášť napěťové a zvlášť proudové svorky referenčního multimetru a zároveň propojíme nízké úrovně napěťových a proudových svorek (příp. použijeme zkratovací svorky od výrobce). Zkratování provádíme vodiči s malými termonepětími, to znamená pozlacený povrch nebo očištěná měď. Provedeme nulování nejnižšího měřicího rozsahu ohmmetru.



Obr. č. 2: DMM je připojen k dekádě čtyřsvorkově



Obr. č. 3: DMM je připojen k dekádě čtyřsvorkově a je připojeno i samostatné stínění dekády



Obr. č. 4: DMM je připojen k dekádě dvousvorkově (obvykle pro jednoduché a málo přesné dekády a pro měření odporů nad 10kΩ)

Několikrát protočíme všechny přepínače odporové dekády a znovu nastavíme nulovou polohu a odečteme hodnotu odporu.

Při všech měřeních prsty zkusíme poklepávat na přepínače a panel odporové dekády. Pokud má poklep vliv na měření, signalizuje to nedostatek ve stavu provedení dekády. Z naměřených hodnot určíme hodnotu nulového odporu a stanovíme nejistotu měření. Na kalibrované dekádě nastavíme všechny přepínače do nulových poloh.

Provedeme podle potřeby několikrát vlastní odečet R_0 . Po každém změření R_0 se protočí přepínače všech dekád z nulové polohy do libovolných hodnot a vrátí se do nulové hodnoty. Poté stanovíme průměrnou hodnotu R_0 . Naměřená hodnota R_0 musí být menší než je dovolená tolerance výrobce. Odečteme a zaznamenáme hodnotu nulového odporu. Tuto hodnotu uvedeme v KL. Přepínání a měření několikrát opakujeme (počet měření je dán požadavky na nejistotu typu A, doporučuje se min. 5 měření).

V případě zjištění velkého R_0 případně velikého driftu hodnoty (mimo specifikaci výrobce), je-li v „Záznamu o převzetí“ v kolonce „Specifikace požadovaného metrologického úkonu“ udělen souhlas zákazníka o možném otevření a vyčištění dekády (pokud to konstrukce odporové dekády umožňuje, přepínače jsou přístupné a nejsou případně použity plomby), očistí se dosedací plochy přepínačů a konservují se neagresivním přípravkem. Poté se kalibrace nulového odporu dekády zopakuje. Obě hodnoty uvedeme v KL.

9.4.2. Kontrola hodnot jednotlivých prvků odporové dekády

Etalonový multimetr ve funkci ohmmetru se ponechá připojený k dekádovému odporu. Na dekádě s nejvyšším odporem se nastaví údaj 1, na všech ostatních dekádách se nastaví údaj 0. Změříme a zaznamenáme hodnotu odporu.

Postupně nastavujeme a měříme hodnoty odporů nejvyšší dekády (nastavujeme hodnoty 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, případně 10).

Na dekádě s nejvyšším odporem nastavíme 0 a změříme a zapíšeme hodnoty odporů dekády s druhým nejvyšším odporem.

Takto postupujeme až změříme hodnoty všech odporů všech dekád.

Několikrát protočíme přepínači všech dekád a celé měření opakujeme (minimálně 5x).

Z opakovaných měření vypočteme hodnoty jednotlivých odporů a stanovíme nejistotu měření.

Zapojení zůstává jako při měření R_0 .

DMM nulujeme s připojenou dekádou v polohách 00000. Tím je odečten nulový odpor dekády u všech měření.

Měří se v pořadí od dekády s nejnižší vahou (obvykle od největších R) po dekádu s nejvyšší vahou. Na každém rozsahu se postupuje v pořadí 1, 2, 3, ... 9, ostatní rozsahy zůstávají v poloze 0. Při každé změně rozsahu na DMM provedeme funkci nulování příslušného rozsahu DMM. Dbáme během celého měření, aby nebyl překročen maximální přípustný proud či maximální ztrátový výkon udaný výrobcem.

Při měření odporů nad $1\text{ M}\Omega$ je třeba věnovat zvýšenou pozornost tomu, aby svodový odpor příliš neovlivnil kalibraci a aby byl snížen vliv elektrostatického rušení na minimum (dostatečný počet odměřů, omezení pohybu osob v okolí měření).

9.4.3. Poloautomatizovaný způsob měření

Kalibraci dekádových odporů lze výhodně provádět v poloautomatizovaném systému při použití počítače s vhodným interaktivním programem, který řídí funkci systémového multimetru naprogramovaného jako ohmmetr a tiskárnu. Kalibrační postup zůstává stejný jako při „ruční“ kalibraci, program nás upozorní, kdy máme přepnout dekádu a jakou hodnotu odporové dekády nastavit, kdy protočit přepínače a vypočítá i nejistotu typu A pro každou měřenou hodnotu a vytiskne tabulku výsledků.

9.4.4 Kalibrace dekád typu B, C_B a D podle kapitoly 1.

Postupujeme podle doporučení výrobce. Ve většině případů nebude použito nulování včetně nulového odporu dekády, ale jen klasické nulování DMM pro měření R a může se stát, že kalibrace nebude provedena v celém rozsahu dekády, což musí být odsouhlaseno předem zákazníkem při přezkoumání smlouvy a vyznačeno i na kalibračním štítku a v kalibračním listu.

Dekády typu B

(s pasivními odpory řazenými v sérii nebo paralelně a přepínanými pomocí relé, kde nastavená hodnota je řízena výpočetní technikou)

Příklad: přesná odporová dekáda, například M – 622 Meatest

Kalibrace se provádí změřením jednotlivých z 35 použitých etalonů R v dekádě a zapsáním jejich hodnoty do přístroje. Postup při kalibraci je následující:

- Pomocí kláves $\uparrow \downarrow$ nastavit kalibrovaný etalon,
- měřičem odporu změřit ve čtyřvodičovém zapojení jeho hodnotu,

Nastavení dekády

Dekáda se nastaví do funkce R (simulace odporu).

Základní kroky kontroly parametrů

- kontrola generovaného odporu na svorkách $R\ 4W$.
- kontrola generovaného odporu na svorkách $R\ 2W$.

Postup kontroly

Následující část popisuje postup kontroly. Kontrolní body jsou uvedeny v tabulce.

1. Dekáda a kontrolní přístroj se připojí k napájení a nechají se alespoň jednu hodinu zapnuté v laboratoři s teplotou 23 ± 2 °C. Měřič odporu se připojí ke svorkám R 4W dekády. Na dekádě se nastaví přechod mezi svorkami 4 W < 2 W na hodnotu 10 kΩ.

2. Proveďte se kontrola přesnosti generovaného odporu ve všech bodech uvedených v tabulce.

Měřič odporu se připojí ke svorkám R 2W dekády. Do hodnoty 10 kΩ včetně propojíme přístroje čtyřvodičově, pro vyšší hodnoty mohou být propojeny i dvouvodičově. Na dekádě se nastaví přechod mezi svorkami 4 W < 2 W na hodnotu 0.

C - Přesný simulátor teplotních odporových snímačů (RTD).

Přesný simulátor teplotních odporových snímačů s rozsahem 10 Ω až 400 kΩ. Přesný RTD simulátor, například M631 Meatest.

Přesnost funkcí Short a Open

Při zařazené funkci Short je na výstupních svorkách dekády zařazen odpor nižší než 60 mΩ.

Maximální povolený proud je 500 mA.

Při zařazené funkci Open jsou výstupní svorky dekády rozpojeny. Odpor mezi nimi je vyšší než 1 GΩ. Maximální povolené špičkové napětí na svorkách je 200 V.

Poznámka:

Funkce Short a Open neslouží jako referenční vztažné body. Nastavená hodnota odporu simulátoru v celém rozsahu 1,6 mΩ až 400 MΩ je kalibrována absolutně a není vztažena k poloze Short.

Funkce Short a Open jsou určeny pouze pro funkční kontrolu chování testovaného přístroje v krajních mezích měřeného odporu

Při kalibraci se měří 23 odporů v rozmezí od 30 Ω do 200 MΩ podle doporučení výrobce.

D - pro simulátory odporu, jak se vyskytují například v multifunkčních kalibrátorech, (například multifunkční kalibrátory M 140, M-142, Meatest)

Multifunkční kalibrátor je vybaven kalibrační procedurou, která umožňuje provést jeho kalibraci. Při kalibraci se nastavují počátky a strmosti charakteristik jednotlivých rozsahů v předepsaném sledu. Kalibrace se provádí pouze ovládním z klávesnice přístroje.

Principy kalibrace

Kalibraci přístroje lze provést:

- částečnou pouze u vybraných funkcí ve všech doporučených bodech
- částečnou pouze u vybraných funkcí a ve vybraných bodech.

Úplná kalibrace se sestává z částečných kalibrací v pořadí podle kalibrační nabídky.

Je-li z MENU kalibrace vybrána pouze některá položka, např. „VOLTAGE DC“ není nutné provést kalibraci všech rozsahů této funkce podle algoritmu daného kalibračním postupem.

Není-li možné provést novou kalibraci na všech rozsazích zvolené položky (není např. k dispozici etalonové měřidlo potřebné přesnosti), lze potvrdit platnost původních kalibračních dat, tj. přeskočit aktuální kalibrační bod.

Kalibrační postup funkce odporů spočívá v nastavení počátku a strmosti stupnice na každém podrozsahu. Strmost podrozsahu se kalibruje dvakrát. Prakticky kalibrace vyžaduje nejprve změření devíti interních rozsahových odporů od 50 Ω do 10 M Ω se zapsáním měřeného údaje do kalibrátoru a následným dostavením koncových bodů podrozsahů. Ke kalibraci je zapotřebí kabelový adaptér Option 70.

Vstup do kalibrační procedury je obvykle chráněn kalibračním kódem.

Kalibrace odporových rozsahů

Při kalibraci odporových rozsahů se využívá obou možností kalibrace, jak nastavení hodnoty změřené v kalibračním bodě etalonovým měřidlem na displeji pomocí kurzorových šipek nebo pomocí potenciometru, tak nastavení jmenovité hodnoty rozsahu na multimetru ovládáním kalibrátoru. Pokud je požadováno vložit měřenou hodnotu do kalibrátoru, objeví se u identifikace kalibračního bodu nápis VALUE METER. Formát údaje na displeji kalibrátoru je shodný s formátem jmenovité hodnoty kalibračního bodu. Pokud je požadováno naopak nastavit ovládáním kalibrátoru jmenovitou hodnotu na etalonovém měřidle, objeví se u identifikace kalibračního bodu nápis VALUE. Formát údaje na displeji kalibrátoru je obecný.

- V rozsahu 0 až 100 k Ω kalibrátor kalibrujeme s připojeným kabelovým adaptérem Option 70, ve čtyřsvorkovém zapojení. Na kalibrátoru zvolíme v kalibrační nabídce funkci RESISTANCE,
- na multimetru zvolíme funkci měření odporu čtyřsvorkově. Provedeme korekci nuly multimetru,
- kabely připojíme k výstupním svorkám kabelového adaptéru,
- multimetrem postupně změříme a zapíšeme do kalibrátoru hodnoty odporu v doporučených kalibračních bodech. Hodnota se napíše pomocí numerické klávesnice, potenciometru nebo pomocí kurzorových šipek,
- pro všechny kalibrační body provedeme dostavení obvyklým způsobem. Správně nastavený údaj potvrdíme stiskem WRITE,
- v rozsahu 100 k Ω až 1000 M Ω odpojíme kabelový adaptér Opt. 70 od konektoru AUXILIARY a etalonový altimetr připojíme ke svorkám Hi – Lu na čelním panelu. Pro všechny kalibrační body provedeme dostavení obvyklým způsobem. Správně nastavený údaj potvrdíme stiskem WRITE.

10 Vyhodnocení kalibrace

Pokud není při měření údaj DMM stabilní, změřené hodnoty se zaznamenávají, počet odečtů pro každou hodnotu ovlivní výpočet nejistoty typu A.

V kalibračním listě je potom vždy uváděn pro každou hodnotu nastavení dekády pouze průměr naměřených hodnot (zkorigovaných o změřené R_0) společně s odhadnutou nejistotou pro hladinu pravděpodobnosti 95 %. Pokud je kromě uvedení naměřených hodnot vyhodnocováno, zda přístroj vyhovuje specifikaci, musí být vzaty v úvahu nejistoty kalibrace.

V kalibračním listě se uvede, že hodnota nulového odporu byla při měření odečtena.

Pokud je známa výrobcem udávaná specifikace odporové dekády, je možné provést vyhodnocení kalibrace porovnáním naměřené odchylky se specifikací uvedenou výrobcem kalibrované dekády. Při tom musíme zúžit toleranční pole o hodnotu nejistoty měření (kalibrace), viz literatura ILAC G-8. Doporučuje se zvětšit ochranné pásmo podle výsledků předchozích kalibrací. U pasivních dekád vinutých z manganinu (mangananu, zeraninu apod.) obvykle postačí ochranné pásmo 20 % ze specifikace.

10.1 Postup vyhodnocení

Nastavené hodnoty odporu, jim odpovídající naměřené hodnoty a nejistoty zjištěné v jednotlivých kalibračních bodech jsou uvedeny v kalibračním listu. Zjištěné odchylky se porovnají s dovolenými přístrojovými nejistotami zmenšenými o stanovenou nejistotu měření.

10.2 Postup v případě neshody

V případě, že kalibrovaný přístroj nevyhověl na některém rozsahu při zkoušce základní přístrojové nejistoty požadavkům na něj kladeným, nemůže být označen kalibračním štítkem nebo se použije štítek s odkazem na příslušné omezení použitelnosti přístroje nebo může být o jeden stupeň zhoršena třída přesnosti, pokud je to odsouhlaseno se zákazníkem. (Pokud odchylka překročí specifikaci o méně než 50 %). Změna třídy přesnosti musí být na dekádovém odporu zřetelně označena.

11 Kalibrační list, označení odporové dekády

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Výsledky měření musí být před vydáním přezkoumávány a schvalovány podle požadavků bodu 7.8.1 v ČSN EN ISO/IEC 17025:2018.

Výsledky musí být v kalibračním listu uváděny přesně, jasně, jednoznačně a objektivně. Doporučuje se zpracovat vzor kalibračního listu náležitosti kalibračního listu, jak jsou uvedeny v odstavci 7.8.2 Společné požadavky na zprávy o kalibracích a 7.8.4 Specifické požadavky na kalibrační listy podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018:

- a) titul (např. „Kalibrační list“),
- b) název a adresu laboratoře,

- c) místo provádění laboratorních činností, včetně těch prováděných v zařízeních zákazníka nebo v místech mimo její trvalá zařízení nebo v přiřazených dočasných nebo mobilních zařízeních,
- d) jednoznačnou identifikaci, že všechny její části jsou součástí celkového kalibračního listu a jasnou identifikaci konce,
- e) jméno a kontaktní údaje zákazníka,
- f) identifikaci použité metody, (označení kalibračního postupu) v tomto případě KP 4.1.2/10/17,
- g) popis, jednoznačnou identifikaci a je-li to nezbytné, stav položky,
- h) datum přijetí kalibrační položky (položek), pokud je to nezbytné pro platnost a aplikaci výsledků,
- i) datum (data) provedení laboratorní činnosti,
- j) datum vydání kalibračního listu,
- k) prohlášení o tom, že výsledky se vztahují pouze ke kalibrovaným položkám
 - l) výsledky a v případě potřeby jednotky měření,
 - m) doplnění, odchylky nebo vyloučení z metody,
 - n) identifikaci osoby (osob) schvalující zprávu,
- o) jednoznačné označení výsledků od externích dodavatelů- v tomto případě se nepředpokládají.
- p) nejistotu měření výsledku měření uvedenou ve stejné jednotce jako měřená veličina nebo ve vyjádření relativním k měřené veličině (např. v procentech),
- q) podle Pokynu ISO 99 je každý výsledek měření obecně vyjádřen jako jediná hodnota měřené veličiny včetně jednotky měření a nejistoty měření,
- r) podmínky měření (včetně například i podmínek prostředí), při nichž byla provedena kalibrace, které mají vliv na výsledky měření,
- s) prohlášení o tom, jak jsou měření metrologicky návazná (viz příloha A normy),
- t) výsledky před a po každé úpravě nebo opravě, pokud jsou k dispozici,
- u) kde je to relevantní, prohlášení o shodě s požadavky nebo specifikacemi na konci zápisu se uvede:

„Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu k, který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %.“

Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA- 4/02 a ILAC-P14:01/2013 .

Doporučuje se vložení prohlášení uvádějícího, že *kalibrační list nesmí být reprodukován jinak než v plném rozsahu* a pokud k tomu laboratoř nedá souhlas, může zajišťovat, že části kalibračního listu nebudou vyňaty z kontextu.

V kalibračním listu pro dekádu provedení typu A musí být pro zákazníka jasně uvedeno, co je hodnota naměřeného nulového odporu a že ostatní nastavené hodnoty jsou uvedeny bez tohoto nulového odporu.

Nastavená hodnota se skládá z měřených hodnot, nastavených na jednotlivých přepínačích, ke kterým se jedenkrát připočte odpor R_0 .

Kalibrační list nebo kalibrační štítek nesmí obsahovat žádná doporučení týkající se kalibračního intervalu kromě případů, kdy to bylo dohodnuto se zákazníkem.

Uvádění prohlášení o shodě

Pokud se poskytuje prohlášení o shodě se specifikací nebo normou, musí laboratoř dokumentovat použité rozhodovací pravidlo s přihlédnutím k míře rizika (jako je falešné přijetí a falešné odmítnutí a statistické předpoklady) spojené s použitým rozhodovacím pravidlem a toto rozhodovací pravidlo použít.

Pokud je rozhodovací pravidlo předepsáno zákazníkem, správnými předpisy nebo normativními dokumenty, další posouzení úrovně rizika není nutné.

Laboratoř musí uvádět prohlášení o shodě tak, aby takové prohlášení jasně identifikovalo:

- na které výsledky se prohlášení o shodě vztahuje,
- které specifikace, normy nebo jejich části jsou splněny nebo nejsou splněny,
- zvolené rozhodovací pravidlo (pokud není obsaženo v požadované specifikaci nebo normě).

V případě kalibrací odporových dekád se předpokládá, pokud není se zákazníkem dohodnut jinak, použití *hodnocení shody* s požadavky nebo specifikací podle ILAC-G8.

Pak se doporučují formulace (podle potřeby):

- „**všechny** naměřené hodnoty jsou ve shodě s mezí danou specifikací (mezemi)“,
- „pro **některé** z naměřených hodnot **není možné učinit** vyjádření o shodě se specifikací“,
- „**některé** z naměřených hodnot **nejsou ve shodě** se specifikacemi“,
- „vyjádření shody se specifikací (nebo požadavkem) **je založeno na pravděpodobnosti pokrytí 95 %** pro rozšířenou nejistotu výsledků měření, na nichž je založeno rozhodnutí o shodě“,
- „zařízení je ve shodě s danou specifikací v naměřených bodech pro danou úroveň pravděpodobnosti a ve vztahu k nejistotě měření.“

Akreditovaná kalibrační laboratoř navíc uvede název/logo akreditačního orgánu, číslo osvědčení o akreditaci, údaje o oprávnění, na jehož základě je kalibrační list vydán, pro-

hlášení, že kalibrační list nesmí být bez písemného schválení kalibrační laboratoře rozmnožován jinak než celý.

Pokud provádí kalibrační laboratoř kalibraci pro vlastní organizaci, může být kalibrační list zjednodušen, popř. vůbec nevystavován (výsledky kalibrace mohou být uvedeny např. v kalibrační kartě odporové dekády nebo na vhodném nosiči, např. v elektronické paměti). I v tomto případě však musí kalibrační laboratoř archivovat záznam o měření s uvedenými měřenými hodnotami.

11.2 Protokolování

Originál kalibračního listu se předá zadavateli kalibrace.

Kopii kalibračního listu si ponechá kalibrační laboratoř a archivuje ji po dobu minimálně 5 roků zároveň se záznamem o měření.

Doporučuje se archivovat záznamy o měření a kalibrační listy chronologicky. Výsledky kalibrace se mohou, v souladu s případnými podnikovými metrologickými dokumenty, zanášet do kalibrační karty měřidla, nebo ukládat do vhodné elektronické paměti.

11.3 Umístění kalibrační značky

Kalibrační list nebo kalibrační štítek nesmí obsahovat žádná doporučení týkající se kalibračního intervalu kromě případů, kdy to bylo dohodnuto se zákazníkem.

Po provedené kalibraci může kalibrační laboratoř označit kalibrovaný dekádový odpor kalibrační značkou, např. kalibračním štítkem. Pokud to není výslovně uvedeno v některém podnikovém metrologickém předpisu, nesmí kalibrační laboratoř uvádět na kalibrační štítek datum příští kalibrace.

11.4 Neshodná práce

Laboratoř musí mít postup, který musí uplatňovat v případě zjištění, že jakékoliv hledisko jejich laboratorních činností nebo výsledky těchto činností neodpovídají vlastním specifikovaným postupům nebo dohodnutým požadavkům zákazníka (např. vybavení nebo podmínky prostředí jsou mimo specifikované meze, výsledky monitorování nesplňují specifikovaná kritéria). Takový postup musí zajišťovat, že:

- jsou určeny odpovědnosti a pravomoci při managementu neshodné práce,
- opatření (včetně zastavení nebo opakování práce a zadržení zpráv, podle potřeby) jsou založena na úrovních rizik, stanovených laboratoří,
- je provedeno zhodnocení významu neshodné práce, včetně analýzy dopadu na předchozí výsledky,
- je učiněno rozhodnutí o přijatelnosti neshodné práce,
- v případě potřeby je upozorněn zákazník a práce je anulována,
- je stanovena odpovědnost pro pověření k opětovnému zahájení prací.

Laboratoř musí uchovávat záznamy o neshodné práci a opatřeních, jak se uvádí v bodu 7.10.1, body b) až f) normy.

Když hodnocení indikuje, že by se neshodná práce mohla opět vyskytnout nebo jsou pochyby o souladu pracovních činností laboratoře s jejím vlastním systémem managementu, musí laboratoř zavést nápravné opatření.

12 Péče o kalibrační postup

Originál kalibračního postupu je uložen u jeho zpracovatele, další vyhotovení jsou přidělena příslušným pracovníkům podle rozdělovníku (viz čl. 13.1 tohoto postupu).

Změny, popř. revize kalibračního postupu je oprávněn provádět jeho zpracovatel, změny schvaluje vedoucí zpracovatele (zpravidla vedoucí kalibrační laboratoře nebo metrolog organizace).

13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

13.1 Rozdělovník

Kalibrační postup		převzal		
výtisk číslo	obdrží útvar	jméno	podpis	datum

13.2 Úprava, schválení

Kalibrační postup	jméno	podpis	datum
upravil			
úpravu schválil			

13.3 Revize

strana	popis změny	zpracoval	schválil	datum

14 Stanovení nejistoty měření (příklad výpočtu)

Zdroje nejistot.

Pokud laboratoř měří dekádu poprvé a nemá výsledky kalibrace v minulosti pro toto sériové číslo, nebo pokud nemá žádné informace o chování tohoto modelu jako typu, lze to lze považovat za situaci se "slabou předběžnou informací" (viz bod 7.2.2 z GUM).

Hlavním zdrojem nejistoty měření je nejistota vlivem DMM a stanovení vlivu teploty na měřenou dekádu. Dalším zdrojem nejistoty mohou být termonapětí. To lze však poměrně jednoduše vyloučit reverzací měřicího proudu. Před zahájením měření je nutné provést vynulování multimetru.

Příklady výpočtu nejistoty jsou uvedeny v literatuře, například v:

M 3003 UKAS, příklad K1 Kalibrace odporu (rezistoru) 10 k Ω

a v:

EA-4/02 M:2013 příklad S3 **KALIBRACE ETALONU ODPORU O JMENOVITÉ HODNOTĚ 10 K Ω**

Příklad výpočtu

Jako etalonový ohmmetr byl použit referenční multimetr FLUKE 8508A.

Kalibrace byla provedena v klimatizované laboratoři s teplotou 23 °C \pm 1 °C.

Při výpočtu nejistot postupujeme podle směrnice EA 4/02.

Stanovení nejistoty typu A

Příklad je uveden pro jmenovitou hodnotu odporu 300 Ω .

Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot:

Měření n	R_{xi} Ω	$R_{xi} - \overline{R_x}$ Ω	$(R_{xi} - \overline{R_x})^2$ Ω^2
1	300,1105	0,000 78	6084 \cdot 10 ⁻¹⁰
2	300,1081	- 0,001 62	26 244 \cdot 10 ⁻¹⁰
3	300,1102	0,000 48	2304 \cdot 10 ⁻¹⁰
4	300,1094	- 0,000 32	1024 \cdot 10 ⁻¹⁰
5	300,1086	- 0,001 12	12 544 \cdot 10 ⁻¹⁰
6	300,1096	- 0,000 12	144 \cdot 10 ⁻¹⁰
7	300,1104	0,000 68	4624 \cdot 10 ⁻¹⁰
8	300,1099	0,000 18	324 \cdot 10 ⁻¹⁰
9	300,1103	0,000 58	3364 \cdot 10 ⁻¹⁰
10	300,1102	0,000 48	2304 \cdot 10 ⁻¹⁰
Σ	3001,0972	0	58 960 \cdot 10 ⁻¹⁰

Odhad R_x hodnoty měřené veličiny je dán aritmetickým průměrem jednotlivých naměřených hodnot R_{xi} :

$$\overline{R}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{xi} = 300,10972 \Omega$$

Výběrová směrodatná odchylka:

$$s(R_x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_{xi} - \overline{R}_x)^2} = 80,93 \cdot 10^{-5} = 0,8093 \text{ m}\Omega$$

Výběrová směrodatná odchylka průměru je pak:

$$s(\overline{R}_x) = \frac{s(R_x)}{\sqrt{n}} = 0,256 \text{ m}\Omega$$

Standardní nejistota $u(R_x)$ odhadu R_x je pak rovna výše uvedené experimentální směrodatné odchylce průměru:

$$u(\overline{R}_x) = s(\overline{R}_x) = 0,256 \text{ m}\Omega$$

Pokud je počet opakovaných měření menší než 10, tento vzorec by vedl k podhodnocení vlivu nejistoty. V tomto případě je hodnota standardní nejistoty $u(R_x)$ stanovena dle článku 3.2.2. (b) dokumentu EA 4/02.

Stanovení nejistoty typu B:

Vliv teploty na DMM

Relativní teplotní koeficient etalonového ohmmetru FLUKE 8508A nemusíme uvažovat, neboť kalibrace i měření bylo provedena v jeho doporučeném referenčním rozsahu teplot.

Vliv mezní chyby etalonu δR_K

Výrobce referenčního multimetru FLUKE 8508A pro funkci měření odporu uvádí v technické dokumentaci pro rozsah 2 k Ω maximálně možnou jednoroční chybu 7,5 ppm z měřené hodnoty +0,25 ppm z rozsahu. Tato chyba je specifikována pro teplotu okolí 23°C \pm 1 °C. Přístroj je kalibrován při teplotě 23 °C \pm 1 °C s výsledkem, že vyhovuje příslušné specifikaci výrobce.

Například pro měřený odpor $R_x = 300 \Omega$, a rozsah 2 k Ω , pak tato max. chyba udávaná výrobcem činí:

$$\pm (7,5 \text{ ppm měřené hodnoty} + 0,25 \text{ ppm rozsahu}) = 2,25 + 0,5 = 2,75 \text{ m}\Omega$$

Standardní nejistota u_K má rovnoměrné pravděpodobnostní rozdělení a pokud rozdíl mezi limitními hodnotami představuje $2 \cdot a$, v našem případě

$$2 \cdot a = 0,055 \Omega,$$

potom její velikost určíme pomocí vztahu:

$$u_K = \frac{a}{\sqrt{3}},$$

pro náš případ:

$$u_K = 0,001\,588\ \Omega = 1,588\ \text{m}\Omega$$

Vliv nejistoty navázání etalonu δR_e

Použitý etalonový ohmmetr má v kalibračním listu, pro daný rozsah měření a danou měřenou hodnotu, uvedenou rozšířenou nejistotu v pro faktor $k = 2$. (např. 4,6 mΩ). Standardní nejistota u_e má normální pravděpodobnostní rozdělení a její velikost určíme pomocí vztahu:

$$u_e = \frac{v}{2} = 2,3\ \text{m}\Omega$$

R_{TX} - teplotní změny neznámého odporu dekády

Na základě údajů výrobce dekády bylo odhadnuto, že teplotní součinitel odporu neznámého odporu měřené dekády nepřesahuje v okolí 23°C hodnotu $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ a nejistota stanovení teploty včetně ohřevu měřicím proudem byla $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$, to znamená pro pravoúhlé rozložení složku nejistoty $u_{TX} = 0,03\ \text{mV} \cdot 1,15 = 0,035\ \text{mV}$.

Veličina	Odhad	Standardní nejistota	Pravděpodobnostní rozdělení	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě
X_i	$x_i\ \Omega$	$u(x_i)\ \Omega$		c_i	$u_i(y)\ \text{m}\Omega$
R_x	\bar{R}_x	$u(\bar{R}_x)$	normální	1	$u(\bar{R}_x) = 0,255$
δR_K	0	u_K	rovnoměrné	1	$u_K = 1,587$
δR_e	0	u_e	normální	1	$u_e = 2,3$
R_{TX}	0	u_{TX}	rovnoměrné	1	$u_{TX} = 0,035$
R	\bar{R}_x	kombinovaná standardní nejistota			$u(R)$

Kombinovaná standardní nejistota $u(R)$ odhadu R :

$$u(R) = \sqrt{u^2(\bar{R}_x) + u_K^2 + u_e^2} = \sqrt{0,0655 + 2,52 + 5,29} = 2,81\ \text{m}\Omega$$

Rozšířená nejistota měření:

Rozšířená nejistota měření U se stanoví vynásobením celkové standardní nejistoty koeficientem rozšíření k :

$$U = k \cdot u(R) = 2 \cdot 2,81 = 5,62 = 5,7\ \text{m}\Omega$$

V případě, kdy lze usuzovat na normální (Gaussovo) rozdělení naměřených hodnot měřené veličiny a kdy celková standardní nejistota je stanovena s dostatečnou spolehlivostí, je třeba použít standardní koeficient rozšíření $k = 2$. Takto stanovená rozšířená nejistota odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 95 %.

Uvádění nejistoty v kalibračním listu:

Výsledek (odhadovaná hodnota skutečné hodnoty):

$$R = \bar{R}_x \pm 2 \cdot u(R) = 300,11\ \Omega \pm 17\ \text{m}\Omega$$

Dodatečná poznámka, vždy uváděná k výsledku měření může mít následující formu:
„Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem kombinované standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k = 2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí cca 95 %. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA - 4/02:2013.

15 Validace

Metody použité v tomto kalibračním postupu byly validovány. Doklad o validaci je uložen v České metrologické společnosti.

Změny proti předchozímu vydání

Tento kalibrační postup byl nově zpracován s přihlédnutím k novým metrologickým předpisům a normám. Obsahuje příklad stanovení nejistoty měření při kalibraci a validaci použité metody.

Upozornění

Tento kalibrační postup byl revidován a posouzen v rámci úkolu rozvoje metrologie, řešeném pro Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví pod číslem VII/02/18. Nesmí být rozmnožován ani předáván jiným organizacím bez souhlasu České metrologické společnosti.

Kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se organizaci, aby jej přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky.

Podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří, část 7.2.1.5 Laboratoř musí před zavedením ověřit, zda je schopna řádně provádět tuto kalibraci tím, že zajistí, že je schopna dosahovat požadované výkonnosti. Záznamy o verifikaci se musí uchovávat. Pokud je tato metoda revidována vydávajícím orgánem, verifikace se musí v nezbytném rozsahu opakovat.

Příloha



Ukázka provedení drátových odporů v klasické odporové dekádě



Ukázka, jak robustní mohou být přepínače v odporové dekádě



Ukázka provedení speciální odporové dekády s drátovými odpory pro široké pásmo kmitočtů