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

Neprodejné

Kalibrační postup

KP 4.1.2/21/18

MEGAOHMMETRY

Praha
Říjen 2018

Vzorový kalibrační postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2018.
Číslo úkolu: VII/1/18.

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 Předmět kalibrace

Uvedený pracovní postup je určen pro kalibraci megaohmmetrů v rozsahu od 100 kΩ až 100 TΩ při stejnosměrném napájení pro třísvorkové (dvousvorkové ve stínícím krytu) připojení a pro měřicí napětí od 50V do 10 kV. Pro hodnoty nad 100 MΩ se udává obvykle výsledek měření pro měřicí napětí 10 V až 10 000 V.

Metodika se netýká kalibrace ostatních parametrů megaohmmetrů.

Metodika se netýká kalibrace mostů s binárním napěťovým děličem (most MI 6000).

Nepřímé metody kalibrace, jako je modifikovaný potenciometrický a Wheatstonův most, nejsou popsány, neboť postup je u nich zcela odlišný od toho, co je popsáno v tomto postupu, a měly by být předmětem samostatného postupu.

Metodika se netýká kalibrace měřičů s ručním pohonem generátoru a neprobírají se specifika řešení pro testery isolace.

2 Související normy a metrologické předpisy

Firemní literatura firmy Keithley	Low Level Measurements Handbook - 7th Edition	[1]
VDI VDE DGD DKD 2622 část 8	Kalibrieren von Messmitteln für elektrische Größen - Gleichstrom-Widerstände	[2]
	PROCEDIMIENTO EL - 008 PARA LA CALIBRACIÓN DE RESISTENCIAS DE ALTO VALOR metodika m 008, CEM ŠPANĚLSKO	[3]
Ing. Roman Honig	Practical Aspects of High Resistance Measurements, CalLab Magazine Jan. 2010	[4]
Kalibrační postup ČMS, KP 4.1.2/19/17	Etalony velkých hodnot odporů nad 100 MΩ	[5]
	Procedimiento EL-004. Edición digital 1 *PROCEDIMIENTO EL-004 PARA LA CALIBRACIÓN DE MEGÓHMETROS*	[6]
ČSN EN ISO/IEC 17025:2015	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří	[7]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Všichni pracovníci laboratoře, interní nebo externí, kteří by mohli mít vliv na laboratorní činnosti, musí jednat nestranně, být kompetentní a pracovat v souladu se systémem managementu laboratoře. Laboratoř musí dokumentovat požadavky na kompetenci pro každou funkci mající vliv na výsledky laboratorních činností, včetně požadavků na

Nerozdejno

vzdělání, kvalifikaci, výcvik, technické znalosti, dovednosti a zkušenosti. Laboratoř musí zajistit, aby pracovníci měli kompetenci pro provádění laboratorních činností, za které odpovídají a musí vyhodnotit dosah odchylek. Vedení laboratoře musí informovat pracovníky o jejich povinnostech, odpovědnostech a pravomocích.

Laboratoř musí mít postup (postupy) a uchovávat záznamy o stanovení požadavků na kompetenci, výběru pracovníků, výcviku pracovníků, dohledu nad pracovníky, pravomocech pracovníků.

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci megaohmmetrů je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s kalibračním postupem upraveným na konkrétní podmínky kalibrační laboratoře nebo obdobného pracoviště provádějícího kontroly měřidel a se souvisejícími předpisy. Proces udržování a rozvoje kvalifikace má být soustavný a dokumentovaný. Minimální potřebný obsah a rozsah znalostí pro kalibraci megaohmmetrů je shrnut v přílohách tohoto postupu.

4 Názvosloví, definice

Používané názvosloví musí být v souladu s názvoslovím, používaným podle VIM 3 a slovníku IEV, speciální pojmy názvosloví pro měřiče impedance jsou uvedeny v této kapitole a v příloze.

teraohmmetry (megaohmmetry), apod. (měřiče vysokých odporů) se používají k měření vlastností izolací, stanovování měrných odporů dielektrik apod. Horní mez měřicího rozsahu se u těchto přístrojů pohybuje od 10^7 Ω do 10^{16} Ω. Pro přímá měření vysokých odporů se nejčastěji používají měřidla pracující v režimu konstantního napětí, obvykle mezi 10V až 10 kV.

Megaohmmetr je zařízení pro měření velkých odporů. Odchyluje se od ohmmetru tím, že odpor je měřen při vysokých napětích, které zařízení generuje (obvykle 100, 500, 1000 nebo 2500 voltů).

Megohmetr je speciální typ ohmmetru používaný k měření elektrického odporu izolátorů. Izolační součásti, například kabelové pláště, musí být při uvedení do provozu a jako součást údržby vysokonapěťových elektrických zařízení a instalací testovány na jejich izolační pevnost. Pro tento účel se používají megohmmetry, které mohou poskytovat vysoké DC napětí (typicky v rozmezí od 500 V do 5 kV, některé jsou až do 15 kV) při určené proudové kapacitě. Přijatelné hodnoty izolačního odporu jsou typicky 1 MΩ až 10 MΩ v závislosti na referenčních normách.

Megger je obchodní firemní název pro megaohmmetr firmy *Megger*. Je to označení výrobce v oblasti měřící a diagnostické techniky pro energetiku. Už v roce 1889 nesl první přenosný měřič izolačního odporu označení *Megger*.

Neprodejné

Megmet byl obchodní název firmy Metra Blansko pro měřicí přístroj na měření velkých (izolačních) odporů (druh megaohmmetru). Ty se zkouší velkými napětími (podle konstrukce 250 V, 500 V, 1000 V, 2500 V). Napětí se v Megmetech ve starších konstrukcích indukovalo točením kličkou, v novějších generovalo elektronicky. Jeho stupnice je značena od nuly do nekonečna (rozpojeno) ohmů. Používal se při revizích nebo k určení závady na kabelovém vedení.

Obecně
V zařízeních starých konstrukcí se obvykle používá vestavěný mechanický generátor pracující na principu dynama pro získání napětí. V současné době se také provádějí mega-ohmmetry ve formě elektronických zařízení pracujících s bateriemi a nejčastěji se používají k měření izolačního odporu kabelů, izolačního odporu se používá pro měření odolnosti izolačních materiálů (dielektrika) drátů a kabelů, konektory, transformátory, vinutí elektrických strojů a jiných zařízení, jakož i pro měření povrchu a objemový odpor izolačních materiálů. Pro tyto hodnoty se mohou vypočítat koeficienty absorpce (vlhčení) a polarizace (stárnutí izolace).

Izolační odpor charakterizuje stav zařízení v daném okamžiku a není stabilní, protože závisí na řadě faktorů, z nichž hlavní jsou teplota a vlhkost izolace v době měření.

Měření izolačního odporu vinutí má za cíl stanovit možnost provedení vysokonapěťových zkoušek bez zvýšeného rizika poškození izolace.

Měření se provádí megaohmmetrem, jehož jmenovité napětí je zvoleno v závislosti na jmenovitém napětí vinutí zkoušeného zařízení. Pro vinutí se jmenovitým napětím do 500 V (660 V), jsou používané v megaohmmetry při 500 V pro vinutí a s napětím až do 3000 V se používá 1000 V na megaohmmetry na vinutí 3000 V jmenovitého napětí a megaohmmetry pro 2500 V a výše.

Kalibrátor testerů isolace - kalibrátor specializovaný pro kalibraci megaohmmetrů, například Meatest M191.

Stupeň izolace je mimo rozsah tohoto kalibračního postupu - uvedeno pouze pro informaci. Ve zvlhčeném prostředí je určen nejen podle pokynů výrobce zařízení v době referenčního měření, ale závisí také na povaze změny hodnot izolačního odporu v průběhu měření, které se provádí obvykle po dobu 1 min. Záznam naměřených hodnot se provádí po 15 s (obvyklý čas nastavení) po startu měření (R15") a po ukončení měření po 60 s po startu (R60"). Poměr těchto hodnot KA = R60 "/R15" se nazývá absorpční koeficient. Jeho hodnota je určena poměrem polarizačního proudu k unikajícímu proudu přes izolaci vinutí dielektrika. Při vlhké izolaci je koeficient absorpce blízký 1. Při suché izolaci je R60 o 30

Neprodejné

% až 50 % větší než *R*15.

Izolační odpor – odpor mezi dvěma místy měřicího obvodu – např. dvěma vodiči kabelu nebo měřicími svorkami jako důsledek konečné hodnoty isolačního odporu materiálu, na kterém jsou svorky upevněny.

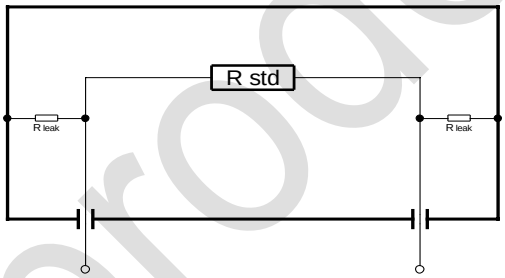
Svodový odpor – odpor mezi konkrétním místem měřeného obvodu a zemí, respektive bodem přivedeným na nulový potenciál.

Zdroj GUARD – přídavný aktivní (regulovaný) nebo pasivní (neregulovaný) zdroj napětí V_G, používaný pro potlačení vlivu izolačních či svodových odporů.

Guard odporu – doplňkové stínění či obdobná konstrukční část odporového etalonu, kterou je možné připojit ke zdroji měřicího napětí V_G.

Dvousvorkový nestíněný etalon odporu.
Provedení kde může působit na hodnotu vliv izolace mezi svorkami, pokud jsou upevněny na nějakém izolačním materiálu, ten se však bude při měření jevit jako nedílná součást hodnoty odporu.

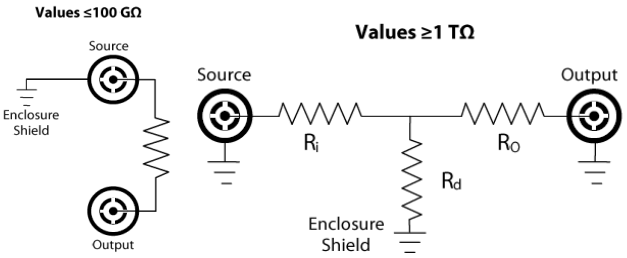
Dvousvorkový etalon odporu v kovovém stínícím krytu (např. typ GL 65206)



Obr. č. 1: Schematické zapojení etalonu odporu vysoké hodnoty (typu GL 65206)

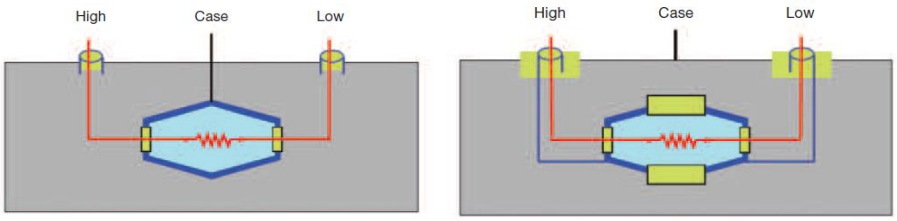
V tomto případě uvažujeme vliv svodového odporu mezi svorkami a stínícím krytem. Ten je prakticky připojen paralelně k vlastnímu odporu. Například při měření na megaohmmetru tento odpor nemusí uplatnit a lze jej eliminovat, jen pokud na kovový kryt přivedeme shodný potenciál, jako je v měřeném bodě. Při jiných konfiguracích měření (uzemněný kryt nebo kryt nepřipojený k ničemu) je výsledek zatížen chybou.

Trojsvorkové připojení - měřený prvek je umístěn ve stínícím krytu, který je připojen na třetí svorku. Třetí svorka musí být připojena na definovaný potenciál. Podrobněji viz příloha. Nejčastěji se při měření používají k připojení koaxiální kabely.



Neprodejné

Obr. č. 2: Ukázka připojení triaxiálním kabelem pro dvojsvorkový (vlevo) a pro simuovaný trojsvorkový etalon (vpravo).



Obr. č. 3: Schéma třísvorkového etalonu s vestavěným hermetizovaným odporem a neděleným stíněním. Koaxiální konektory jsou připojeny ke svorce uzemnění označené case (vlevo) a schéma třísvorkového etalonu s vestavěným hermetizovaným odporem a rozděleným stíněním (vpravo), kde jsou koaxiální konektory připojeny každý k polovině vnitřního pouzdra, svorka uzemnění je připojena k vnějšímu krytu.

Nové etalony odporu jsou před uvedením na trh obvykle podrobeny urychlenému stárnutí několika cykly, avšak během prvních dvou let používání může hodnota odporu mít ještě významný posun stárnutím. Změny mohou dosáhnout až 1 % od původní hodnoty. Za účelem kontroly tohoto driftu se doporučuje snížit počáteční rekalibrační interval asi na polovinu z následně použité doby. Můžete také požádat o dodatečné stárnutí výrobce.

Přesnost při měření velkých odporů.
Přestože se jedná o faktor, který závisí na možnostech, uživateli a jeho potřebě, počáteční hodnoty jsou obvykle nastaveny v rozmezí 1 % za nižší hodnoty (1 GΩ), a mohou dosáhnout až 10 % pro vyšší hodnoty (100 TΩ).

Kalibrace a šum
Nejistota kalibrace megaohmmetrů se zvýšením hodnoty odporu znatelně roste. Roste i šum měření, který je také závislý na hodnotě odporu. To je neodstranitelná vlastnost odporu, že jejich šum závisí na hodnotě podle vztahu:

$$E_N = 4\,kTRdF$$

Kde:
E_N je RMS hodnota šumového napětí ve Voltech,
R je odpor v ohmech,
k je Boltzmannova konstata,
T je teplota v Kelvinech,
dF je šířka pásma v Hz.

Teplotní koeficient: je nejdůležitější vlastností etalonu, spolu s jeho hodnotou a přesnosti je to variace ohmické hodnoty odporu "R_x" s teplotou:

$$\alpha_{(Rx)} = X\ 10^{-6}\ K^{-1} \cdot R_x \qquad \Omega\ K^{-1}$$

Neprodejné

Kladná hodnota α (R_x) znamená, že odpor se zvyšuje s rostoucí teplotou. Obvyklé hodnoty α jsou mezi 100 ppm/°C až 5000 ppm/°C. Hodnota X se může měnit v širokých mezích v závislosti na typu etalonu.

Koeficient vlivu napětí: Variace ohmického odporu etalonu s přiloženým napětím:

$$\Delta_{V(R_x)} = \mathrm{Y}\ 10^{-6} \cdot R_x \qquad\qquad \Omega\ \mathrm{V}^{-1}$$

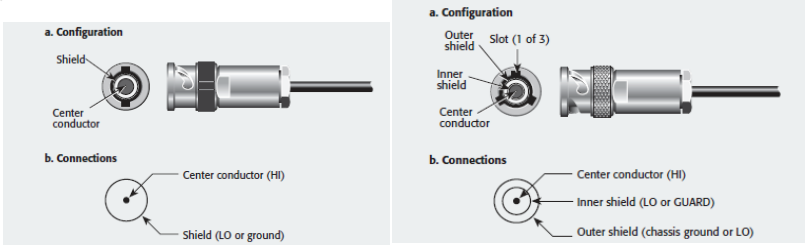
Kladná hodnota naznačuje, že se zvyšuje odpor jako funkce přiloženého napětí. Hodnoty Y bývají mezi 1 ppm/V až 100 ppm/V jako rozdíl od hodnoty V, pro kterou je odpor kalibrován v normálních podmínkách. Tato vlastnost musí být respektována při kalibraci megaohmetrů.

Hodnota odporu etalonu může být závislá i na polaritě přiloženého napětí, takže jeho kalibrace se může provádět pro napětí obou polarit, ale obvykle se udává průměrná hodnotu pro obě polarity, (ale s ohledem na další složky nejistoty je tento koncept třeba uvažovat i dále).

Piezoelektrický jev viz literatura [1].
Tribolektrický jev viz literatura [1].
Elektrochemický svod viz literatura [1].

Etalony pro vysoké hodnoty odporu pro kalibraci megaohmmetrů - celkové vlastnosti
Jsou obvykle tvořeny odpory s kovovou vrstvou a zapouzdřeny do skleněné ampulky plněné suchým inertním plynem a následně do uzavřeného prostoru. Mohou představovat jeden prvek pro každou hodnotu nebo sadu odporů ve společné krabici nebo kalibrátor s řadou z těchto hodnot v diskrétním provedení, nebo elektronický kalibrátor (například Meatest M 191).

Kabely použité pro připojení etalonu ke kalibrovanému přístroji jsou obvykle koaxiální kabely, jejichž nejcharakterističtější parametr je izolační odpor. K tomuto účelu se používá pro kabely pro megaohmmetry a teraohmmetry téměř výhradně teflonová izolace, která má odpor vyšší než 10^{16} Ω (10^4 TΩ). Tím jsou pro izolaci získány vyhovující hodnoty. Vzhledem k tomu, že měřicí kabely jsou odnímatelné prvky, jsou i opatření k jejich použití důležitá, aby se zabránilo možnosti ovlivnit výsledek nesprávnými kabely nebo neshodným stavem kabelů. Speciální kabely mají potlačený triboelektrický jev a bývají i v triaxiálním provedení.



Obr. č. 4: BNC konektor a jeho připojení a triaxiální konektor a jeho připojení

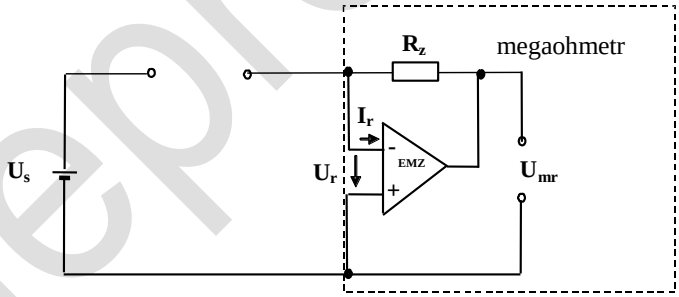
Neprodejné

Konektory: V závislosti na přesnosti kalibrovaných odporů, které jsou používány, se v podstatě používají dva typy svorek: Pro střední nebo nízké přesnosti odporu jsou používány kolíky od banánků 4 mm. Odpor má obvykle tři svorky, dvě připojené k měřenému odporu a třetí připojenou k ochrannému krytu.

Pro konstrukci vysoce přesných odporů jsou používány nejčastěji konektory typ N (zřídka i BNC). Odpor má dva konektory, jejichž střední vývody jsou připojeny k odporu a vnější vývody ke stínění.

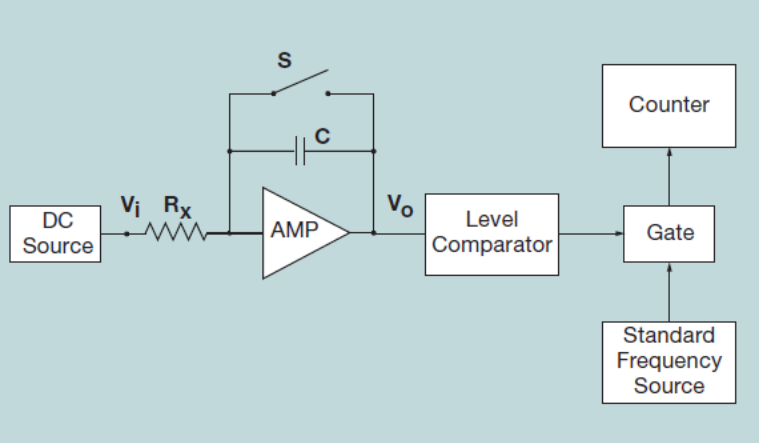
U obou typů používaných konektorů (N a BNC) by měl být jako izolační materiál použit "Teflon", pro získání velmi vysokého izolačního odporu. Specifikace výrobce konektoru často označují nižší limit pro izolační odpor ≥ 5 GΩ, (například pro N-typ konektorů), ale obvykle je jejich odpor mnohem vyšší a tento parametr je nutné, pokud je to možné, změřit.

Obr. č. 5: Ukázka provedení, svorky etalonu pro banánky a svorky v konektoru N



Obr. č. 6: Základní zapojení megaohmmetru s elektrometrickým zesilovačem

Neprodejné

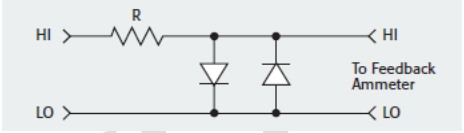


Obr. č. 7: Základní zapojení přesného megaohmmetru s integrátorem

Princip měření megaohmmetru s integrátorem podle obrázku 7 je dán vztahem.

$$R_X = -(1/C)(V_i/\Delta V_0)\,\Delta t\,.$$

Extrémně citlivé vstupy pikoampérmetrů a megaohmmetrů je možné chránit obvodem podle obrázku 8.



Obr. č. 8: Základní zapojení ochrany citlivých vstupů (dioda je typu 1N3595)

Stabilita:
Doporučuje se, aby nejistota kalibrace referenčního odporu byla nejméně čtyřikrát menší než nejistota kalibrovaného megaohmmetru při běžném použití, (ale nepožaduje se překročení hranice 10 krát menší).

5 Měřidla a pomocná měřicí zařízení pro kalibraci

Kalibrace měřičů vysokého odporu
Kalibrace megaohmmetrů odporu má následující specifika:

- výraznější napěťová závislost použitých etalonů než u středních odporů,
  (U dobrých vysokoohmových etalonů se pohybuje v řádu desetin ppm/V, ale může dosáhnout až jednotek ppm/V),
- obvykle se kalibrují při vyšším napětí než střední hodnoty odporů,
- větší vliv svodových odporů, které je nutno eliminovat,
- s ohledem na svody není vhodné umístit etalony v olejové lázni a tak snížit kolísání teploty okolí, projevuje se vyšší citlivost na vlhkost,
- vyšší rušení přes induktivní a kapacitní vazby, triboelektrickým a piezoelektrickým efektem,
- menší význam čtyřvodičového zapojení (zcela není vhodné pro R > 1 MOhm),

Neprodejné

- vyšší časová konstanta v měřícím obvodu a z toho vyplývající delší doba ustálení,
- vliv dielektrické absorpce jak na straně UUT, tak etalonů případně kabelů. V jejím důsledku může docházet k ustálení hodnoty až v řádu minut,
- při kalibraci je zpravidla nezbytné specifikovat měřicí napětí. Obvykle se volí v hlavní oblasti použití UUT, pokud není definováno tak v horní polovině napěťového rozsahu UUT,
- vliv vlhkosti RH v laboratoři. Některé komponenty mohou absorbovat vzdušnou vlhkost a tím měnit svoje parametry. Doporučuje se udržovat RH při kalibraci do 60 % a nevystavovat ani etalony ani UUT expozici vyšší RH při skladování/uchovávání.

Ve shodě s bodem 3.3.4 dokumentu Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters EURAMET cg-15 Version 3.0 (02/2015) - Previously EA-10/15 se doporučuje pro všechny kalibrované body uvažovat ochranné pásmo 70 % roční specifikace výrobce megaohmmetru. Mezní hodnota může být nastavena i na 50 % specifikace pro všechny měřicí body.

Pro kalibrace popsané v tomto postupu, je nutné mít k dispozici:

<u>Varianta kalibrace A – kalibrace se sadou etalonů odporu</u>

Etalony odporu stejných jmenovitých hodnot (nebo odporová dekáda) podle rozsahu kalibrovaného megaohmmetru kalibrované při stejném napětí jako je použito při kalibraci.
Například to mohou být etalony:
Odporová dekáda Yokogawa 1 kΩ až 100 MΩ typ 2784, nebo etalony odporu 9331S Measurements International, 10 GΩ až 100 TΩ, nebo jako příklad etalony firmy Burster, viz obr. č. 9.

Obr. č. 9: Ukázka povedení etalonů Burster řady 127x

Neprodejné

Etalony Burster řady 127x mají výrobcem udáno:

Model	Resistance Value	Accuracy	Voltage Coefficient
1270	10^6 Ω	1 %	- 0.005 %/V
1271	10^7 Ω	1 %	- 0.005 %/V
1272	10^8 Ω	1 %	- 0.005 %/V
1273	10^9 Ω	1 %	- 0.02 %/V
1274	10^{10} Ω	1 %	- 0.02 %/V
1275	10^{11} Ω	1 %	- 0.02 %/V
1276	10^{12} Ω	5 %	- 0.02 %/V
1277	10^{13} Ω	5 %	- 0.04 %/V
1278	10^{14} Ω	10 %	- 0.04 %/V

Provozní napětí: 20 V...1000 V,
Teplotní koeficient: typicky ±0,15 % / K, maximálně ±0,30 % / K,
Konstrukce: kovový kryt s PVC krytem,
Rozměry: 36 x 30 x 90 [mm],
Hmotnost: cca. 70 g.

Varianta kalibrace B, s kalibrátorem M 191 Meatest jako etalonem

Použije se kalibrátor, například Insulation Tester Calibrator, 191 Meatest.
Základní funkcí kalibrátoru M191 Meatest je režim s vysokým odporem (HVR). V tomto režimu lze připojit jakoukoliv hodnotu odporu v rozmezí od 10 kΩ do 1 TΩ a připojit ji k výstupním svorkám kaibrátoru. Maximální povolené pracovní napětí DC je od 50 V do 10000 V, v závislosti na nastaveném odporu. Přepnutí hodnoty odporu při zkušebním napětí je povoleno jen v omezeném rozsahu napětí. Parciální rozsahy odporu, absolutní mezní napětí a maximální přípustné zkušební napětí jsou uvedeny v tabulce.

Rozsah odporu (Ω)	**V_{max} DC testovací napětí (V)**	**V_o Maximální testovací napětí pro přepínání (V)**
10.00 k – 99.99 k	50	50
100.0 k – 999.9 k	250	250
1.000 M – 9.999 M	1 000	1 000
10.00 M – 99.99 M	5 000	1 500
100.0 M – 499.9 M	10 000	3 000
500.0 M – 999.9 M	10 000	3 000
1.000 G – 9.999 G	10 000	3 000
10.00 G – 19.99 G	10 000	3 000
20.00 G – 99.99 G	10 000	3 000
100.0 G – 299.9 G	10 000	3 000
300.0 G – 1000.0 G	10 000	3 000

Na displeji kalibrátoru se zobrazí následující informace:

- nastavte hodnotu odporu v Ω,
- V_{max} je maximální bezpečné zkušební napětí, které platí pro výstupní svorky.

Neprodejné

Zobrazená hodnota se mění v závislosti na nastavené hodnotě odporu v rozsahu 50 V až 10000 V,

- aplikované zkušební napětí. Jedná se o hodnotu stejnosměrného zkušebního napětí pocházejícího z kalibrovaného megaohmmetru a připojeného k výstupním svorkám kalibrátoru.

Kalibrátor měří zkušební napětí z megaohmmetru, pokud je odpor nastaven v rozmezí od 10 kΩ do 300,0 GΩ.

V rozsahu od 300,1 GΩ do 1 000,0 GΩ se zkušební napětí neměří. Značka "n/a" se zobrazí namísto čtení na řádku displeje.

Ochrany kalibrátoru jsou stále vypnuty, když jsou výstupní svorky vypnuty. Čtení zkušebního napětí potlačí nulu v pásmu ±50 VDC. Interní voltmetr má jeden rozsah 10 kV. Zkušební proud. Kalibrátor vypočítá a zobrazuje zkušební proud. $I_{test} = U_{test} R$, kde R je nastavená hodnota odporu a U_{test} měří zkušební napětí.

Dodržovat správný postup kalibrace v pořadí:

- propojit M191 a UUT,
- nastavit požadovanou hodnotu odporu na M191,
- nastavit měřicí rozsah napětí na UUT, případně rozsah odporu (je-li vyžadováno v technickém popisu UUT),
- zapnout výstupní svorky M191 ON,
- aktivovat měření UUT, zpravidla tlačítkem START.

Po provedení odměrů:

- deaktivovat měření v UUT,
- odpojit výstupní svorky M191 tlačítkem OFF nebo nastavit jinou požadovanou hodnotu odporu.

Poznámka: M191 neumožňuje při velkým měřicích napětím přepnout hodnotu odporu. Je nutné nejprve deaktivovat měření v UUT.

Pozor, Megaohmmetry měří s vysokým napětím a proto je třeba zachovávat všechna bezpečnostní opatření.

Další vybavení pro kalibraci

- 2 kusy (koaxiální) připojovací kabely s kvalitní isolací a konektory (nejčastěji N), délka 1 m, (tato sada kabelů je obvykle příslušenství kalibrovaného megaohmmetru),
- kovová stínící skříň (kovové pletivo) s teflonovými průchodkami (doporoučené, jen pokud se kalibruje častěji),
- teploměr a vlhkoměr pro monitorování prostředí v laboratoři,
- speciální čisticí prostředky (velmi čistý isopropylalkohol),
- pomůcky pro čistění.

Sada použitých měřicích kabelů, má být s následujícími charakteristikami:

- stíněné,

Neprodejné

- vysoký izolační odpor kabelů,
- je-li to možné splétané (prověřit vhodnost, je omezena isolačními vlastnostmi kabelů),
- konektory s vysokým izolačním odporem,
- nízké termonapětí (obvykle nemá vliv, je zanedbatelné proti měřicímu napětí).
- triboelektrická odolnost,
- piezoelektrická odolnost,
- naopak, používají-li se nestíněné kabely, doporučujeme, aby se vzájemně nedotýkali a aby se nedotýkali ani uzemněných částí,
- kabely a konektory je nutno udržovat v čistotě,
- nestíněné kabely se čistí izopropylalkoholem,
- u stíněných kabelů (zapojení) je vliv hodně potlačen, pokud ovšem UUT umí eliminovat paralelní svodové odpory. Mylné je zapojení použít při kalibraci dvousvorkového UUT stíněné kabely v domnění že to pomůže.

6 Obecné podmínky kalibrace, referenční podmínky

Obecné podmínky prostředí okolí pro měření velkých *R*.
Kalibrace se provádí v prostředí, které splňuje tyto požadavky:

- suché, chráněné před povětrnostními vlivy,
- čisté a bezprašné,
- dostatečně osvětlené,
- bez vibrací a otřesů,
- bez elektromagnetického rušení, které by mohlo ovlivnit měření.

Mezní doporučené podmínky:

- teplota prostředí má být v rozmezí 23 °C ± 1 °C,
- pokud se teplota prostředí časem mění, rychlost změny nemá být větší než 0,2 °C za hodinu,
- vytápění a cirkulace vzduchu má být řešena tak, aby na měřicím pracovišti nedocházelo k jednostrannému ohřevu měřidel,
- relativní vlhkost prostředí má být menší než 60 %,
- doporučená je stabilizovaná relativní vlhkost vzduchu 40 % *RH* až 50 % *RH*,
- stav napájecí sítě se kontroluje v rámci systému jakosti, cca jednou ročně.
- kontrola okolní teploty se provádí teploměry s rozlišením alespoň 0,1 ºC,
- referenční podmínky je nutné kontrolovat před zahájením kalibrace, v jejím průběhu a po skončení kalibrace,
- zaznamenává se i atmosférický tlak v době měření (obvykle má ale jen zanedbatelný vliv),
- je doporučené, aby pracoviště splňovalo požadavky ESD pracoviště, hlavně neobsahovalo isolované plochy,
- pracoviště nesmí používat ionizátory,

Neprodejné

- personál nemá mít oděv snadno se elektrostaticky nabíjející (z umělých vláken, bývají to například kravaty),
- doporučený je oděv určený pro ESD pracoviště,
- v době měření má být omezen jakýkoliv pohyb v laboratoři.

7 Rozsah kalibrace

Volba kalibračních bodů
Ve shodě s normou EN IEC 60359 i dokumentu Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters EURAMET cg-15 Version 3.0 (02/2015) jsou doporučené body pro měření:
(a) nula pro DC R,
(b) / + 10%, ± 90% ve všech rozsazích,
(c) ± 10%, + 50 %, ± 90 % ve vybraném středním rozsahu.

Doporučená mezní hodnota specifikace může být nastavena na 50 % (70 %) specifikace výrobce pro všechny měřicí body, aby byla zvýšena pravděpodobnost setrvání megaohmmetrů ve specifikaci výrobce až do další kalibrace (viz doporučení v EURAMET cg-15).

8 Kontrola dodávky a příprava

8.1 Přezkoumání zakázky
Zakázka na kalibraci se při přebírání přezkoumává podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005, odst. 4.4., nebo po revizi normy v ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 kapitola 7.

Přezkoumání má potvrdit, že laboratoř má nezbytné fyzické, lidské a informační zdroje a že pracovníci laboratoře mají dovednosti a odborné znalosti potřebné k provádění příslušných kalibrací. Laboratoř musí vytvořit a udržovat postupy pro přezkoumávání poptávek, nabídek a smluv. Jakékoli rozdíly mezi poptávkou nebo nabídkou a smlouvou musí být dořešeny před zahájením prací. Každá smlouva musí být přijatelná jak pro laboratoř, tak pro zákazníka. Při přebírání megaohmmetru ke kalibraci je třeba zjistit, zda typ, výrobní číslo a příslušenství dodaného megaohmmetru odpovídá údajům uvedeným v objednávce nebo dodacím listu. Současně se provede jeho předběžná kontrola, spočívající ve vnější prohlídce a kontrole provozuschopnosti. Kontroluje se mechanická nepoškozenost připojovacích konektorů a jejich čistota (v případě potřeby se vyčistí).

Při přebírání megaohmmetru ke kalibraci je třeba, aby odpovědný pracovník kalibrační laboratoře posoudil, zda typ, výrobní číslo a příslušenství dodaného megaohmmetru odpovídá údajům uvedeným na objednávce nebo dodacím listu. Současně se provede přezkoumání smlouvy z pohledu požadavků zákazníka a možností laboratoře.

Dále se provede předběžná kontrola, spočívající ve vnější prohlídce přístroje a podle ISO/IEC 17025:2017 kapitola 7 má následující body:

Neprodejné

Laboratoř musí vytvořit a udržovat postupy pro přezkoumání žádostí, výběrových řízení a smluv. Zásady a postupy pro tyto názory vedoucích ke smlouvě pro testování a/nebo kalibrace zajistí, aby:

- požadavky jsou odpovídajícím způsobem definovány, zdokumentovány a pochopeny,
- laboratoř má schopnosti a zdroje, aby splňovaly požadavky zakázky,
- příslušná kalibrační procedura byla vybrána a je schopna vyhovět požadavkům zákazníků,
- jakékoli rozdíly mezi žádostí nebo nabídkou a smlouvou musí být vyřešeny před započetím práce,
- každá smlouva musí být přijatelná jak pro laboratoř, tak pro zákazníka,
- odchylky vlivem přání zákazníka nesmí ohrozit laboratorní integritu,
- pro interní zákazníky, mohou být provedena hodnocení žádostí, výběrových řízení a smluv zjednodušeným způsobem,
- záznamy o hodnocení, včetně jakýchkoli významných změn, musí být udržovány,
- záznamy musí být zachovány i z případných jednání se zákazníkem, týkajících se požadavků zákazníka nebo výsledků práce během období plnění smlouvy.

Pro posouzení rutinních a jiných jednoduchých úkolů, datum a identifikace (např. iniciály) osoby odpovědné v laboratoři za provedení sjednané práce jsou považovány za dostatečné. V případě opakovaných rutinních úkolů, přezkum nemusí být proveden pouze v počáteční fázi šetření nebo o udělení zakázky na pokračující rutinní práci vykonanou v rámci obecné dohodě se zákazníkem za předpokladu, že požadavky zákazníka zůstávají nezměněny. Pro novou, složitou nebo pokročilou kalibrační činnost, by měl být zachován obsáhlejší záznam.

Do přezkumu bude nutné rovněž zahrnovat všechny práce zadané subdodavatelům laboratoře. V případě tohoto kalibračního postupu se použití subdodavatele nepovoluje.
Zákazník musí být informován o každé odchylce od smlouvy.

Pokud je potřeba, aby zakázka, měla být změněna poté, co laboratoř zahájila činnost, musí být použit stejný proces přezkoumání smlouvy a případné změny se sdělují všem zainteresovaným pracovníkům.

8.2 Kontrola dodávky v praxi

Při převzetí etalonů ke kalibraci od uživatele je třeba provést vnější prohlídku (úplnost štítkových údajů, typové označení, mechanická pevnost svorek, poškození, nečistota atd.).

Postup kontroly zahrnuje:

- zkontrolujte, že megaohmmetr je identifikován značkou, číslem modelu a příslušné série, nebo na základě jedinečného interního kódu vlastníka. Kdyby to tak nebylo, tak bude přidělen identifikační kód kalibrační laboratoří, obvykle identifikovaný štítkem bezpečně přilepeným na kalibrovaný přístroj,
- návod k obsluze ke kalibrovanému megaohmmetru je důležitý, aby osoba provádějící kalibraci se mohla seznámit s jeho vlastnostmi a mohla být prozkoumána možnost splnění požadavků při kalibraci,
- megaohmmetr, na který se používá tento kalibrační postup, se obvykle nejustují,
- stav a pevnost připojovacích svorek musí být kontrolovány, v případě potřeby se

Neproofine

provádí jejich čištění. Zkontrolujte, že odpovídající kontaktní plochy svorek nejsou zkorodovány.

Megaohmmetr, který nevyhověl při vnější prohlídce a konstrukčnímu provedení dle výrobce, se vyřadí z dalších zkoušek.

8.3 Příprava kalibrace

- Megaohmmetr i referenční etalony, musí zůstat v kalibračním místnosti nejméně čtyři hodiny před začátkem kalibrace. Je nutné zajistit, že vlhkost nepřekročí udané limity,
- napájení megaohmmetru (teraohmmetru) při kalibraci se pro tepelnou stabilizaci provede před spuštěním měření. Doba tepelné časové stabilizace závisí na typu přístroje, obvykle vyhoví nejméně 1 hodina,
- kalibrace se provádí v prostředí, kde se udržuje normální okolní teplotu mezi 22 °C až 24 °C, včetně vlivu nejistoty měření teploty megaohmmetru (teraohmmetru) pro udržení jejich optimální specifikace.
- relativní vlhkost nemá přesáhnout 70 %, doporučuje se max. 50 % *RH*. Etalon, použitý pro kalibraci by měl být pokud možno hermeticky uzavřen, aby nebyl ovlivněn vlhkostí,
- síťové kabely musí být nepoškozené a musí procházet pravidelnými revizemi.

Příprava etalonů.
Je důležité, aby vhodně připravit vždy použitý etalon tak, aby nežádoucí paralelní svody byly sníženy co nejvíce, jak je to možné. Stav povrchu izolace svorek je velmi kritický, protože to obvykle tvoří významný zdroj elektrického svodu. Povrch etalonů musí být suchý a bez vodivých solí nebo jiných usazenin. Aby nedošlo k zamaštění etalonů, s etalony se nesmí manipulovat nechráněnou rukou (vyhoví například bavlněné rukavice).

8.4 Uzemnění a vliv šumu

Uzemnění nebo stínění etalonů odporů nejen snižuje hladinu šumu ale v některých případech je zřejmé, že se naměřená hodnota odporu podle zapojení uzemnění změní. Proto musí být naprosto přesně specifikováno, když mají ke kalibraci použité odpory požadavky na uzemnění. Například, pokud referenční (národní) laboratoř kalibrovala referenční etalon odporu, musí být v kalibračním listě uveden i velmi podrobný popis podmínek a konfigurace používaných k dosažení nejlepšího výsledku. Uvedené nejistoty jsou platné pouze za uvedených podmínek, tak, že je nutné, aby podmínky měření byly i při použití ke kalibraci megaohmmetru reprodukovány tak přesně, jak je to možné. V případě, že výrobce poskytl možnost užití stíněného uzavřeného prostoru nebo svorek pro uzemnění, mělo by to být používáno.

9 Postup kalibrace

9.1 Přezkoumání smlouvy, kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

Aby nedošlo k nenapravitelné škodě, musí být dodržena všechna bezpečnostní opatření pro práci s napětím a pro řádný průběh operací v rámci tohoto postupu. V každém případě se respektují pokyny výrobce uvedené v technickém manuálu, aby nedošlo k ohrožení pracovníků provádějících kalibraci.

Neprodejné

Před zahájením kalibrace se provedou následující předběžné operace:

- zkontrolovat, zda megaohmmetr určený pro kalibraci je jednoznačně a permanentně identifikován, to je jeho značku, typ a odpovídající pořadové číslo nebo s jeho vlastním interním kódem. Pokud tomu tak není, přidělí laboratoř identifikační kód a uvádějte jej vždy společně nebo pokud lze, tak je třeba jej bezpečně připevnit na kalibrovaný megaohmmetr,
- analyzovat specifikace kalibrovaného megaohmmetru, takže osoba provádějící kalibraci se seznámí s těmito specifikacemi,
- zajistit aktuální technické příručky přístrojové techniky použité při kalibraci a zkontrolujte, zda osoba provádějící kalibraci je proškolena a pověřena pro tuto metodiku,
- zkontrolovat kalibrační stav přístrojového vybavení používaného při kalibraci. Chcete-li analyzovat, zda je jeho kalibrační certifikát v platnosti (pozor na sledování trendu driftu) a pokud to certifikát zaručuje, vhodná opatření, která mají být provedena v průběhu kalibrace k dosažení platné návaznosti a uvedené nejistoty,
- zkontrolovat, zda je jmenovitá hodnota napájecího napětí a možné variance jsou vhodné pro provoz přístrojového vybavení používaného při kalibraci. Napětí 230 voltů ±10 % je za normálních okolností vhodné pro provoz většiny přístrojů. V každém případě, pokud potřebujete, je třeba poradit se s návodem k obsluze,
- připojení etalonů k přístrojové napájecí síti použité v kalibrační místnosti je nutné před začátkem kalibrace tepelně stabilizovat. Čas teplotní stabilizace je zpravidla 1 hodinu, minimálně 30 minut,
- zkontrolovat, zda je teplota v laboratoři udržována v mezích uvedených pro laboratorní provoz,
- zkontrolovat, zda je relativní vlhkost v laboratoři udržována v mezích uvedených pro laboratoř. V tomto typu kalibrace za žádných okolností nedojde k překročení horní hranice 70 %, doporučuje se nižší hodnoty asi 40 % nebo 50 %,
- je nutné udržovat prostředí ke kalibraci minimálně 24 hodin v laboratoři před zahájením kalibrace,
- nejméně 24 hodin před začátkem kalibrace vyčistěte konektory megaohmmetru a referenční odpory a použitého kabelu (obvykle isopropanolem). Kontrolujte odpor před a po čistění. Pokud je po čistění menší, je nutno nalézt chybu (obvykle je to kontaminovaný čisticí prostředek),
- **Poznámka:** nikdy nenamáčíme čisticí pomůcku ve skleničce čistidla, aby nemohlo dojít k jeho kontaminaci. Čistidlo kapeme na čisticí pomůcku,
- zkontrolujte, zda měřič použitý ke kalibraci je připojen do zásuvky, která obsahuje ochranný vodič jako základní míru ochrany proti nepřímému dotyku,
- nedělejte žádnou operaci na svorkách megaohmmetru, pokud je přítomno na těchto svorkách napětí. Proto před provedením jakékoli manipulace stiskněte klávesu, která uvede přístroj do pohotovostního stavu (přístrojový pohotovostní režim) a zkontrolujte, zda není žádný signál na jeho svorkách.

9.2 Proces kalibrace – možné kalibrační sekvence

- kontrola ofsetu megaohmmetru,

Neprodejné

- kontrola zdroje napětí,
- kontrola rozsahů,
- kontrola linearity,
- volba kalibračních bodů.

9.3 Kalibrace v omezeném rozsahu

Na základě požadavku zákazníka je možné provést kalibraci pouze některých rozsahů přístroje. V tom případě se provede také kontrola zdroje měřicího signálu a poté kalibrace v požadovaných rozsazích podle tohoto postupu v příslušném odstavci. Vždy se provede kontrola linearity alespoň na jednom rozsahu. Kalibrační štítek musí v tomto případě uvést, že jde o omezený rozsah kalibrace.

9.4 Připojení a provádění měření, varianta A s odporovou dekádou

Obr. č. 10: Připojení dekády (obrázek je podle literatury ke kalibrátoru M 191)

Volba kalibračních bodů

Označení bodů je provedeno stejně jako v bodu 3.4. Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters EURAMET cg - 15, Version 3.0 (02/2015).

Volba kalibračních bodů a dalších rozsahů se provede v rozsahu nejméně podle tabulky:

Doporučené kalibrační body ukazuje tabulka

funkce	Rozsah měřiče Hi R	Kalibrované body /Ω/		
		Začátek rozsahu	Střed rozsahu	Plný rozsah
R	nejnižší	Zkrat,		90 %
R	Všechny ostatní	10 %		90 %
R	Jeden (střední)	10 %	50 %	90 %

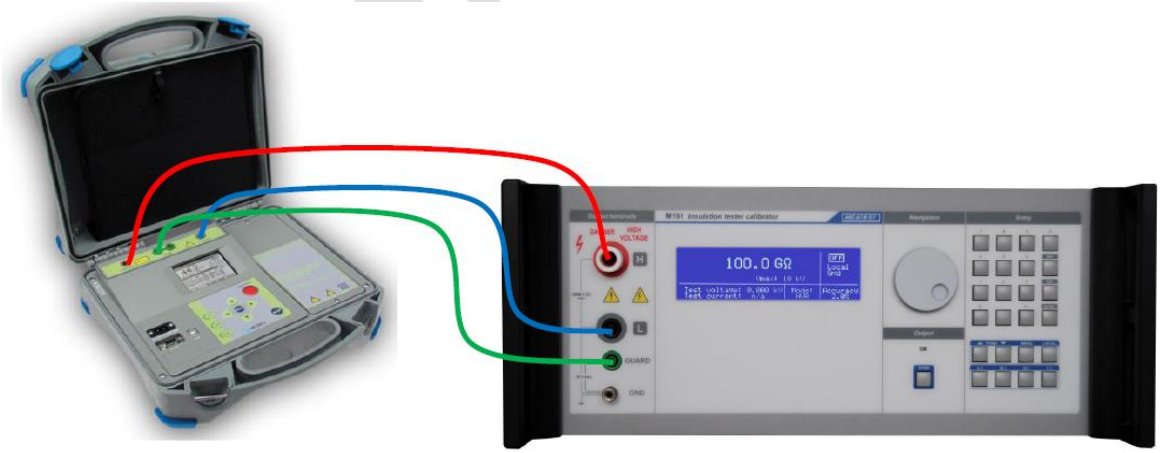
Hodnoty v % jsou udány z plného rozsahu stupnice, 10 % indikuje počátek stupnice hodnot. Měření hodnot mezi nulou a 10 % z plného rozsahu se nedoporučuje (mimo spodní rozsah), protože se měří s větší přesností v dalším dolním rozsahu, ale v případě, že jsou požadovány další body a jejich nejistota, musí být kalibrace adekvátní. 90 % označuje hodnotu blízkou k plnému rozsahu. Skutečná hodnota se může měnit od 50 % až 99 % celé stupnice.

K měřené hodnotě přísluší i údaj o velikosti zdroje napětí při měření.

Do tabulky naměřených hodnot uvedeme i zkušební napětí.

9.5 Připojení a provádění měření, varianta B s kalibrátorem M 191

Obr. č. 11: Příklad připojení dvousvorkového megaohmmetru ke kalibrátoru M 191



Obr. č. 12: Příklad připojení trojsvorkového megaohmmetru ke kalibrátoru M 191

- Připojte kabely používané v postupu pro kalibraci odporu, odpovídající kalibrační metodě s přihlédnutím k následující úvahy a doporučení výrobce,
- udržujte používané kabely a konektory dobře udržované a čisté,
- zkontrolujte správné připojení a snažte se vyhnout nadměrně ohýbat kabely,

- zkontrolujte, zda na svorkách používaných pro měření není žádné napětí,
- vyhněte se zdrojům tepla, které ovlivňují teplotu kalibrovaného přístroje buď zářením, nebo vedením, umístěním kalibrovaného přístroje co možné nejdále od takových vlivů,
- proveďte krátké spojení na vstupu měřiče a je třeba kontrolovat zbytkový signál nebo provést nulování,
- počkejte se čtením, až se podaří stabilizovat hodnotu měření,
- jak je uvedeno v technických příručkách každého přístroje, není-li přepólování prováděno automaticky, musí se provést ručně, pokud je to možné,
- je-li zvolena polarita, počkejte, až se měření stabilizuje před přijetím měřené hodnoty,
- v případě, že megaohmmetr nemá k dispozici připojení stínění, jako je měření základních provedení dvousvorkových odporů, pokud je to možné je třeba odpor chránit v maximální možné míře od vnějších zásahů v uzavřené plechové krabičce, průchod na svorky na povrchu krabičky má být pro zvýšení izolačního odporu z methylmethakrylátu nebo teflonu,
- aby nemohly vzniknout zemní smyčky a šum, které by mohly zkreslit výsledky kalibrace, je používán pouze jeden bod uzemnění. Vedení nesmí tvořit smyčky,
- aby se zabránilo rušení, je třeba zajistit, aby žádné osoby se nepohybovaly kolem měřicího systému,
- udržujte pracoviště používané při kalibraci zapnuté minimálně 30 minut se teplotně stabilizovat.

9.6 Vlastní kalibrace

Následující proces by měl být proveden operátorem, s cílem charakterizovat měřiče vysokého odporu a používané referenční rezistory.

Připojte etalonový referenční odpor k megaohmmetru a ponechte dostatek času ke stabilizaci. (pozor, musí se nabít parazitní kapacita v obvodu). Obsluha musí být informována o časovém rámci, který je potřebný k dosažení stability. Je třeba zapisovat údaje z dlouhodobého měření (obvykle 12 hodin).

Po zkoušce je třeba analyzovat data, odstranit vliv rušivých odečtů a driftu megaohmmetru, určeného pro přímé měření.

Stanovení chyby měřidla by se měla opakovat minimálně 5 krát za období jednoho dne. Zkontrolujte změnu hodnoty v průběhu času a určete náhodné chyby založené na driftu měřidla.

Toto určení denní chyby měřiče se opakuje 3 krát po sobě následující dny a je třeba porovnávat jakékoliv změny v okolní teplotě, vlhkosti a zejména tlaku vzduchu ke změně omylem, což umožňuje odhalit předchozí náhodné chyby a vlivy stability megaohmmetru. Zejména je třeba určit, zda existuje souvislost mezi tlakem vzduchu a hodnotou etalonu, protože tlak vzduchu není parametr pro laboratorní prostředí, který je obvykle řízen. Některé odpory budou mít zanedbatelný koeficient tlaku vzduchu, vzhledem k tomu, že to bude mít význam i pro ostatní měření. Zkušenosti ukázaly, že obvykle i megaohmmetr má zanedbatelný koeficient vlivu tlaku vzduchu. To bylo prokázáno tím, že se sleduje odpor

Neprodejné

vzhledem k tlaku vzduchu na měřený odpor, který se zdá být citlivý na tlak vzduchu a srovnáním výsledků s referenčním odporem, který ukázal nepatrnou změnu odporu při různém tlaku vzduchu, za použití stejného modelu megaohmmetru.

U měřičů izolace by se měl rovněž kontrolovat zkratový proud. Ten definuje norma na revizní přístroje. Kalibrátor M191 je vybaven měřičem zkratového proudu s rozsahem 5 mA.

9.7 Principy kalibrace

Zkušební metody.
Dvě metody jsou obvykle k dispozici pro provedení měření etalonu odporu mega-ohmetrem.
Metoda A je přímo změřit odpor diskrétního etalonu *R* (viz čl. 9.8).
Metoda B je použití kalibrátoru s postupem podle doporučení výrobce kalibrátoru.

9.8 Metoda A přímého odečtu podle etalonu *R*

kalibrovaného etalonu na vhodném měřiči (dále jen megaohmmetru) – vhodné především laboratoř dobře vybavené etalony nebo dekádami vysokých hodnot *R*. Kalibrace zahrnuje jedno ze zvolených připojení, to je dvousvorkové a třísvorkové připojení.

Kalibrovaný etalon se připojí k měřicímu zařízení buď přímo (pokud to konstrukce a typ připojovacích konektorů umožňuje), nebo pomocí koaxiálních kabelů s konektory (N). Pokud má kalibrovaný etalon jiný typ konektoru, případně i jiný typ připojení (dvou, třísvorkové), než je provedení megaohmmetru je nutno provést převod mezi těmito typy pomocí vhodné redukce.

Při vlastním měření je potřeba používat vodiče s dobrou izolací, omezit pohyb osob v blízkosti kalibrovaného objektu, důsledně dodržovat stínění a zemnění a počítat s dostatečně dlouhými ustalovacími časy před vlastním odečtem.

Opakování měření

Doporučuje se provést několik sad měření, kdy každá sada měření sestává nejméně z 10 měření. Pro každou sadu měření zaznamenáváme výsledky měření a podmínky prostředí, v nichž byla provedena měření. Mezi každou sadou měřením musí být minimálně dvě hodiny s maximálně pěti sadami měření za den. Vzhledem k tomu, že hmotnosti etalonu *R* a změna teploty v něm je pomalá, doporučuje se minimální čas mezi měřeními v rámci jedné sady měření. Měření se má opakovat nejméně 2 dny:

- připojte megaohmmetr ke kalibrovanému odporu,
- **Poznámka:** v záznamu sběru dat uvádět hodnotu kalibračního odporu při napětí aplikovaném při kalibraci,
- na základě pokynů uvedených v technické příručce měřidla pro měření, poznamenejte si hodnotu naměřenou měřidla pro různé hodnoty napětí.

9.9 Simulovaný etalon s T článkem

Kromě výše uvedených konstrukcí odporových etalonů se ještě v praxi poměrně často používají etalony zapojené v třísvorkové konfiguraci, tvořené „T“ článkem – dvěma odpory v sérii a třetím mezi jejich společným bodem a zemí (např. výrobní model GL9337 nebo ruské etalony řady P4085). Přímé měření těchto etalonů, které vlastně jen simulují

Neprodejné

odpor vysoké hodnoty je možné jen pro třísvorkové připojení. U některé konstrukce, kde je možné změřit jednotlivé vnitřní odpory „T“ článku samostatně může být takový etalon změřen po částech a simulovaná hodnota odporu určena výpočtem (včetně jeho nejistoty, ale pozor na vliv isolací). Toto ale není jednoduše možné v případě, kdy ke společnému bodu všech tří odporů není z vnějšku přístup. Nicméně i zde je možné z hodnot naměřených mezi jednotlivými svorkami následně simulovaný odpor a jeho nejistotu vypočítat.

Výše zmíněná konfigurace měření platí ovšem jen pro měření odporů, které jsou vybaveny děleným guardem - při plánování konkrétní konfigurace měření je nutné vzít samozřejmě v úvahu konkrétní konstrukční uspořádání jednotlivých etalonů, které budou měřeny (viz předcházející rozbor) a pro jejich kombinaci navrhnout takovou sestavu, která bude optimální. Podrobněji viz Kalibrační postup KP 4.1.2/19/17 *Etalony velkých hodnot odporů nad 100 MΩ* ČMS, literatura [5].

Při návrhu konkrétního zapojení je nutné zabránit připojení paralelních izolačních odporů přímo k měřeným odporům (nepoužívat čtyřvodičové kabely v zapojení etalonů, které je obvyklé při měření klasických čtyřsvorkových odporových etalonů nižších hodnot případně dvouvodičových kabelů u dvousvorkových etalonů). Paralelně připojený odpor není možné dodatečně eliminovat žádným stíněním či guardem.

Přednostně se použije stíněný dvouvodičový kabel pro každý pár svorek.

V případě zemnění je nutné vyhnout se vytváření zemních smyček – všechny země by měly být připojeny do jediného zemního bodu – na zemnící desku na panelu megaohmmetru.

Dalším cílem je navržení takového zapojení, které nejlépe umožní potlačit vliv případného svodového či izolačního odporu na svorkách. Podle konstrukce jednotlivých připojených odporů volíme možnost zapojení pomocného zdroje GUARD tak, abychom pokud možno izolovali citlivé body.

Jak již bylo zmíněno dříve, toto se nejsnáze dosáhne u odporů s děleným guardem, spojeným s vnějším pláštěm koaxiálních svorek a též stínění kabelů přivedených na tyto svorky.

Tentýž postup lze volit i u etalonů s děleným guardem propojeným pomocným odporem, kde nízká impedance zdroje GUARD zajistí, že se vliv pomocného odporu na měření neuplatní. Toto ovšem platí jen v případě měření s aktivním zdrojem GUARD, pokud by se použil fixní externí zdroj GUARD, pak správná funkce bude zajištěna jen při měření poměru neznámého a etalonového odporu 1:1. V případě měření s jiným poměrem odporů dojde k chybám, neboť pomocné odpory mají stále stejnou hodnotu, takže napětí fixního zdroje GUARD se bude dělit vždy 1:1, nezávisle na poměru měřených odporů.

U odporů s neděleným vnitřním guardem se zapojí vnitřní guard ke zdroji GUARD.

U odporů pouze s jednoduchým stíněním (dvousvorkových i čtyřsvorkových) je vhodné připojit toto stínění ke zdroji GUARD. **Pozor - napětí zdroje GUARD je na kovovém povrchu odporu!!!**

Neprodejné

Pozor je nutné dávat vždy při měření s využitím zdroje GUARD – jeho napětí může být na kovových částech konektorů, pláštích odporů, stínění kabelů, proto platí: Nikdy se nedotýkat kovových částí při měření.

Příklad: P 4085 z Ruska má následující vlastnosti:
Jmenovitá hodnota je odpor, GΩ: 1, 10, 100, 1000.
Limit přípustné základní chyby,%:
2-svorkově 1 GOhm: 0,05;
3-svorkově 10 GOhm: 0,05;
3-svorkově 100 GOhm: 0,1;
3-svorkově 1000 GΩ: 0,2.
Jmenovité napětí, V: 100.
Maximální přípustné napětí, V: 500.

Obr. č. 13: MEPA P4085 - M1

9.10 Měření v paralelní kombinaci, metoda A
Poznámka: Při použití kalibrátoru, metoda B není paralelní kombinace potřebná, kalibrátor dokáže generovat celou řadu etalonových hodnot jako 3 místná dekáda.

V metodě A se jedná o pomocnou, spíše nouzovou metodu, kdy je třeba změřit hodnotu, která není přímo k disposici, například při kontrole linearity.

V této kombinaci samozřejmě izolační či svodové odpory hrají vysokou úlohu a jejich potlačení je kritické - například při měření v oblasti teraohmů jsou již srovnatelné s hodnotou měřeného odporu a jejich správné ošetření je tedy nezbytné.

V tomto zapojení je důležitá maximální snaha aplikovat již uvedená pravidla pro eliminaci vlivu izolací a svodů na kabelech a konektorech použitých odporů.

Kromě těchto podrobně diskutovaných vlivů izolačních a svodových odporů se na výsledné nejistotě změřené hodnoty odporu samozřejmě podílí celá řada dalších vlivů, jako:

- stabilita etalonů, doba od jejich kalibrace, znalost historie jejich chování a možnost predikce okamžité hodnoty,
- napěťové závislosti, teplotní a výkonové koeficienty odporů, stabilita teploty v termostatu, relativní vlhkost vzduchu,
- termonapětí na svorkách,
- statické náboje, mikrofonní efekt kabelů,
- správnost nastavení napětí V_G zdroje GUARD.

9.11 Doplňková měření
Vždy je třeba udávat napětí, při kterém je provedeno měření.

Při použití kalibrátoru M 191 udáváme i další parametry, které kalibrátor umožňuje udat.

Rozsah měření v kalibrátoru M 191 je 10 000 VDC.

Indikace zkušebního napětí:
čtyřmístný měřič v kalibrátoru M 191 je s rozsahem do 10 kVDC s potlačenou indikací pod 50 VDC Přesnost měření testovacího napětí: 0,5 % + 10 V.

Zkušební proud:
Rozsah zkušebního proudu: 100 mA
Indikace zkušebního proudu: 4místný měřič v kalibrátoru M 191 měří v rozmezí od 0,01 pA do 99,99 mADC.

Do podmínek měření patří:

- Krátkodobý zkušební proud.
- Rozsah proudu v kalibrátoru M 191 je: 0,000 – 5,000 mA DC.
- Vstupní odpor: 2 700 Ω , přesnost: 0,2 % + 5 uA.
- TIMER. Rozsah časovače v kalibrátoru M 191: 5 s až 9 999 s.
- Přesnost časovače: (0,3 + 0,0001 * t) s kde t je uplynulý čas. Prahové napětí: <100 VDC.

Funkce časovače umožňuje ověřit funkce časovače bezpečnostních testerů a megaohmmetrů. Kalibrátor M 191 může měřit časový interval pro to, jaké je zkušební napětí UUT na výstupních svorkách kalibrátoru. Při kalibraci se kalibrátor automaticky přepíná v řadě sekvencí: OFF, STANDBY, RUNNING, OFF. V kalibrátoru časovače se automaticky připojí k hodnotě odporu výstupních svorek 100 MΩ. Hodnotu nelze změnit.

10 Vyhodnocení kalibrace

Kalibrace v období 12 až 24 měsíců je přiměřená doba času pro rekalibraci megaohmerů. Tato doba může být upravena v závislosti na požadované metrologické stabilitě přístroje a historie jeho chování v závislosti na čase. Spodní hranice může být stanovena technickým manažerem laboratoře na základě dostupných informací a vzhledem k použití odporu, zdá se nerozumné klesnout pod šest měsíců. Pokud jde o horní hranici je nastavena obvykle na 24 měsíců až na základě nejméně 3 vyhovujících rekalibrací.

Neprodejné

Kalibrační list se musí vztahovat pouze k veličinám a výsledkům kalibrací a funkčních zkoušek. Jestliže bylo vypracováno vyjádření o souladu se specifikací, musí být identifikováno, které články specifikace jsou splněny a které nejsou splněny, podle ILAC-G08:03/2009 Pokyny k uvádění shody se specifikací (Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification, 2009). Toto vyjádření odpovídá ochrannému pásmu s nejistotu dosaženou při měření 95 %.

Pokud je vypracováno vyjádření o shodě se specifikací, přičemž jsou vynechány výsledky měření a s nimi spojené nejistoty, musí laboratoř tyto výsledky zaznamenat a udržovat jejich záznamy pro další možnou potřebu.

Pokud jsou vypracována vyjádření o shodě, musí být vzata v úvahu nejistota měření.

Jestliže se přístroj, který se má kalibrovat, bude justovat nebo opravovat, musí být uvedeny výsledky kalibrace získané před a po justování nebo opravě, pokud jsou k dispozici.

Kalibrační list nesmí obsahovat žádné doporučení týkající se intervalu kalibrace s výjimkou doporučení, které bylo odsouhlaseno zákazníkem.

10.1 Postup vyhodnocení
Kalibrační laboratoř vede záznamy, v nichž kromě jiného uvádí:
- konkrétní udání použitého zdroje specifikace,
- měřicí rozsahy, na nichž je kalibrace prováděna,
- výstupní napětí nastavené na zdroji v kalibrovaném megaohmmetru,
- nejistota kalibrace.

10.2 Rozhodnutí o výsledku kalibrace
V organizacích, v nichž vedoucí kalibrační laboratoře vykonává současně funkci metrologa organizace na základě vyhodnocení zkoušených bodů uvedených v kapitole 7, rozhodne vedoucí kalibrační laboratoře, zda kalibrovaný přístroj vyhovuje (literatura [5]) nebo nevyhovuje všem požadavkům na něj kladeným.

10.3 Postup v případě neshody
V případě, že kalibrovaný megaohmmetr literatura [5] čerpal od minulé rekalibrace více než 70 % z očekávané specifikace driftu při interních kalibracích, rozhoduje vedoucí kalibrační laboratoře a případně doporučuje zkrátit dobu do následující rekalibrace, viz také doporučení v literatuře [5]. Při kalibraci externímu zákazníkovi má být o tomto návrhu rozhodnutí zákazník informován.

Postup uváděný v bodech 10.2 a 10.3 se používá v organizacích, v nichž vedoucí kalibrační laboratoře vykonává současně funkci metrologa organizace. V jiných případech provádí příslušná rozhodnutí zástupce (obvykle metrolog) organizace, která objednala kalibraci.

10.4 Justování
Megaohmmetry obvykle při kalibraci nejustujeme.

Neprodejné

11 Kalibrační list

Výsledky měření by měly být uváděny v souladu s normou ČSN EN ISO 17025:2005 a jejího článku 5.10 – Uvádění výsledků nebo podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018.

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat tyto údaje:
a) název a adresu kalibrační laboratoře,
b) pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
c) jméno a adresu zadavatele, popř. zákazníka,
d) název, typ, výrobce a identifikační číslo kalibrovaného megaohmmetru,
e) datum přijetí megaohmmetru ke kalibraci (nepovinné), datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 4.1.2/21/18),
g) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),
h) měřidla použitá při kalibraci,
i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření (etalony použité při kalibraci),
j) výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
k) jméno pracovníka, který měřidlo kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

Vyjádření o nejistotě měření, které podle ILAC-P14:01/2013 bod 6.3 může mít tvar

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

Společné požadavky na zprávy o kalibracích, odstavec 7.8.2 v ČSN EN ISO/IEC 17025:*2018* [7] požaduje, že **k**aždý kalibrační list musí obsahovat alespoň následující údaje, pokud laboratoř nemá podstatné důvody je neuvádět, čímž se minimalizuje možnost nedorozumění nebo nesprávného použití:
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 přičleněných dočasných nebo mobilních zařízeních,
d) jednoznačnou identifikaci, že všechny její části jsou součástí celkové zprávy a jasnou identifikaci konce zprávy,
e) jméno a kontaktní údaje zákazníka,
f) identifikaci použité metody,
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 zprávy,
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,

Neprodejné

n) identifikaci osoby (osob) schvalující zprávu,
o) jednoznačné označení výsledků od externích dodavatelů.
p) Vložení prohlášení uvádějícího, že zpráva nesmí být reprodukována jinak než v plném rozsahu pokud k tomu laboratoř nedá souhlas, může zajišťovat, že části zprávy nebudou vyňaty z kontextu.
q) Laboratoř musí odpovídat za všechny poskytované informace v kalibračním listu, kromě dodaných zákazníkem. Data dodaná zákazníkem musí být jasně identifikována. Kromě toho musí být ve zprávě uvedeno odmítnutí odpovědnosti, když informace dodané zákazníkem mohou mít vliv na platnost výsledků.

Specifické požadavky na kalibrační listy podle bodu 7.8.4 normy ČSN EN ISO/IEC 17025:*2018*.
Kalibrační listy musí obsahovat, kromě obecných požadavků uvedených 7.8.2 normy, ještě následující:
a) nejistotu měření výsledku měření uvedenou ve stejné jednotce jako měřená veličina nebo ve vyjádření relativním k měřené veličině (např. v procentech),
Podle Pokynu ISO 99 výsledek měření je obecně vyjádřen jako jediná hodnota měřené veličiny včetně jednotky měření a nejistoty měření.
b) podmínky (podmínky měření i podmínky prostředí), při nichž byla provedena kalibrace, které mají vliv na výsledky měření,
c) prohlášení o tom, jak jsou měření metrologicky návázána,
d) výsledky před a po každé úpravě nebo opravě, pokud jsou k dispozici,
e) kde je to relevantní, prohlášení o shodě s požadavky nebo specifikacemi megaohmmetru.

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, správními 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).

Při kalibraci megaohmmetrů se doporučuje vyjádření o shodě psát podle ILAC G8:03/2009, Pokyny k uvádění shody se specifikací, jen výjimečně se postupuje dále podle pokynu ISO/IEC 98-4.

Akreditovaná kalibrační laboratoř navíc uvede přidělenou kalibrační značku, číslo laboratoře a odkaz na osvědčení o akreditaci. Součástí kalibračního listu je též prohlášení, že uvedené výsledky se týkají pouze kalibrovaného předmětu a kalibrační list nesmí být bez předběžného písemného souhlasu kalibrační laboratoře publikován jinak než celý.

Neprodejné

Pokud provádí kalibrační, resp. metrologická laboratoř kalibraci pro vlastní organizaci, může být kalibrační list zjednodušen, případně vůbec nevystavován (výsledky kalibrace mohou být uvedeny např. v kalibrační kartě měřidla nebo na vhodném nosiči, popř. v elektronické paměti). V tomto případě je vhodné, aby kalibrační laboratoř zpracovala záznam o měření (s uvedenými měřenými hodnotami) a archivovat jej.

11.2 Protokolování

Originál kalibračního listu se předá zadavateli kalibrace. Kopii kalibračního listu si ponechá kalibrační laboratoř a archivuje ji po dobu nejméně pěti let nebo po dobu stanovenou zadavatelem zároveň se záznamem o kalibraci. Doporučuje se archivovat záznamy 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

Po provedení kalibrace může kalibrační laboratoř označit kalibrované měřidlo kalibrační značkou, popř. kalibračním štítkem nejčastěji s uvedením čísla kalibračního listu, datem provedení kalibrace, případně s logem laboratoře. Pokud to není výslovně uvedeno v některém interním podnikovém metrologickém předpisu nebo kupní smlouvě se zákazníkem, nesmí kalibrační laboratoř uvádět na svém kalibračním štítku datum příští kalibrace, protože stanovení kalibrační lhůty měřidla je právem a povinností uživatele.

Po ukončení a vyhodnocení provedení kalibrace se přístroj opatří kalibrační značkou – štítkem. Kalibrační štítek je třeba na přístroj umístit viditelně.

Na štítku je **uvedeno číslo kalibračního listu, datum provedené kalibrace podpis pracovníka,** který prováděl kalibraci **a identifikace kalibrační laboratoře**.

V případě, že je výsledek kalibrace nevyhovující, označí se měřidlo štítkem **NEVYHOVUJE.**

V případě, že je výsledek kalibrace nepokrývá měření v celém rozsahu specifikací, použije se štítek s označením **NEÚPLNÁ KALIBRACE.**

11.4 Převzetí ke kalibraci a předání kalibrovaného megaohmmetru

Převzetí megaohmmetru ke kalibraci stvrzuje pracovník kalibrační laboratoře svým podpisem na kopii objednávky nebo na formuláři k tomu určenému. Po skončení kalibrace megaohmmetru stvrzuje zákazník svým podpisem na příslušném formuláři nebo do knihy zakázek jeho převzetí. V obou případech se k podpisům připojují příslušná data.

11.5 Změny kalibračních listů

Jakákoliv změna informací v kalibračním listu musí být identifikována a popřípadě v ní uveden i důvod změny.

Změny ve zprávě po jejím vydání se musí učinit pouze v podobě dalšího dokumentu, nebo datového přenosu, který obsahuje toto sdělení „**Změna kalibračního listu, sériové číslo**, (nebo jiná identifikace)“, nebo ekvivalentní forma znění. Takové změny musí vyhovovat všem požadavkům tohoto dokumentu.

Neprodejné

Pokud je potřebné vydat celý nový kalibrační list, musí se tento jednoznačně identifikovat a musí obsahovat odkaz na originál, který nahrazuje.

11.6 Reklamace

V případě, že objednatel kalibrace podá stížnost na provedenou kalibraci, tuto přebírá vedoucí kalibrační laboratoře, v době nepřítomnosti jeho zástupce. Stížnost se může týkat rozsahu nebo správnosti provedené kalibrace, úplnosti nebo správnosti předaného kalibračního listu, úplnosti vráceného megaohmmetru, případně výše fakturace za provedenou kalibraci.

Povinností vedoucího kalibrační laboratoře je analyzovat stížnost, na jejím základě učinit příslušná opatření a s nimi bez prodlení seznámit objednatele kalibrace.

Nebyly-li při analýze shledány závady, je o tom objednatel kalibrace informován také.

Pokud je stížnost oprávněná a jedná se o rozsah nebo správnost kalibrace, provede laboratoř novou, bezplatnou kalibraci a vystaví nový kalibrační list. V ostatních případech oprávněné stížnosti se provedou příslušná opatření.

.

11.6 Neshodné výsledky kalibrace

Pokud laboratoř zjistí, například při rekalibraci megaohmmetru, že prováděla chybné (neshodné) kalibrace, je její povinnost provést nápravná opatření a informovat také zákazníka, pro kterého mohly být neshodné práce provedeny, viz také ČSN EN ISO/IEC 17025: 2005 bod 4.9 a 4.11 podle ČSN EN ISO/IEC 17025:*2018 Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří* [7] v případě identifikace Neshodné práce.

Laboratoř musí mít postup, který musí uplatňovat v případě zjištění, že jakékoliv hledisko jejích 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:

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

Neprodejné

12 Péče o kalibrační postup

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

Změny, popř. revize kalibračního postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele (vedoucí kalibrační laboratoře nebo metrolog organizace).

13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

Uvedený příklad je pouze orientační a subjekt si může tuto dokumentaci upravit podle interních předpisů o řízení dokumentů.

13.1 Rozdělovník

Kalibrační postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

13.2 Úprava a schválení

Kalibrační postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

13.3 Revize

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

Neprodejné

14 Stanovení nejistoty měření (příklad výpočtu)

Ke kalibraci megaohmmetrů je použit etalon odporu 10 GΩ nastavený v kalibrátoru Meatest M191

Teplota v době měření : (23,2 až 23,4) ± 0,5 ° C
Relativní vlhkost v době měření : (35 ± 10) %

Pro kalibrátor M 191platí pro referenční podmínky:
Referenční teplota: 23 ± 2 ° C

Teplotní závislost: pro teplotu mimo referenční teplotu 23 ± 2 ° C, to je pracovní teplota od +13 ° C do +33° C, kde je třeba přidat: 0,1 x stanovená přesnost /° C při referenční teplotě.

Referenční relativní vlhkost <50% pro odpor v rozsahu od 10 GΩ do 1 000 GΩ
Vlhkost:
Přidat: 0,15 x stanovená přesnost /% RH pro rozsah 10,00 GΩ až 1 000,0 GΩ
0,05 x stanovená přesnost /% RH pro rozsah 100,0 MΩ až 9,99 GΩ
0,02 x stanovená přesnost /% RH pro rozsah 10,00 kΩ až 99,99 GΩ
pro okolní vlhkost v rozmezí 50 % až 70 % *RH*

Referenční podmínky jsou splněny.
Specifikace kalibrátoru zahrnuje dlouhodobou stabilitu, teplotní koeficient, linearitu, regulaci zatížení a vedení návaznost kalibrace.
Specifikace je platná po zahřátí jednu hodinu a v teplotním rozmezí 23 ^{o}C ± 2 ^{o}C.
Specifikace je platná po dobu jednoho roku od poslední rekalibrace.

Funkce HVR (programovatelná dekáda s vysokou odolností)
Pro nastavenou hodnotu 10,00G má kalibrátor specifikaci 1,0% pro napětí do 10000V při závislosti na napětí $1{,}5 \cdot 10^{-7}$/V a pro napětí při měření je specifikace 0,5 % + 10 V
Hodnota pro 10GΩ byla podle kalibračního listu kalibrována při napětí 1000V.

Etalon pracuje v rámci své specifikace

Byla provedena sada n měření, kde *n* je nejméně 5
X je průměr z n měření:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{n}$$

Nejistota průměru u_X je typu A určená z *n* měření a_i kalibrovaného přístroje:

$$u_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (a_i - X)^2}{n \cdot (n-1)}}$$

Rozložení výsledků opakovaných měření by mělo být co nejbližší normálnímu. Každá odchylka od tohoto rozložení signalizuje problém při měření. Zejména sledujeme, zda postupně prováděná měření nemají systematickou složku driftu, která by ukazovala, že proces není ustálen. Toto posouzení je jednodušší než použití komplexnějších metod.

Chyba měření odporu se vypočte ze vztahu:

$$\Delta = X - R_E + dX - dR_{ET} - dR_{ED}$$

Kde jednotlivé veličiny nemají významnou vzájemnou korelaci a
R_E Je hodnota etalonového odporu – je určeno z kalibračního listu (včetně nejistoty vydělené použitým koeficientem rozšíření)
dR_{ET} Je odchylka etalonového odporu - zahrnuje teplotní závislost odporu. (kolem 0,01 %/K)

Neprodejné

dR_D Je odchylka etalonového odporu - zahrnuje odchylku od poslední kalibrace. Meze ±(0,1 až 0,5) %

dX vyjadřuje vliv omezené rozlišovací schopnosti kalibrovaného přístroje:

$$u_{dX} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{MR}{dig}$$

MR je rozsah kalibrovaného přístroje

dig je zobrazovací schopnost displeje (například 2000 u 3,5 místného)

Poznámka 1: Vzorec platí pouze pro lineární stupnice. U silně nelineárních a logaritmických stupnic je třeba postupovat individuálně.

Příklad: Kalibrace měření odporu 10 GΩ, kolísání teploty ±2 K:

veličina	Odhad	Standardní nejistota	pravděpodobnostní rozdělení	citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě
X	10,002 GΩ	0,004 GΩ	normální	1	0,004 GΩ
R_E	10,003 GΩ	0,003 GΩ	rovnoměrné	-1	-0,003 GΩ
dR_{ET}	0 GΩ	0,0012 GΩ	rovnoměrné	-1	-0,0012 GΩ
dR_{ED}	0 GΩ	0,006 GΩ	rovnoměrné	-1	-0,006 GΩ
dX	0 GΩ	0,00029 GΩ	rovnoměrné	1	0,00029 GΩ
Δ	0,001 GΩ				0,00800 GΩ

Rozšířená nejistota je za předpokladu normálního rozdělení $K = 2$: $U = 0{,}016$ GΩ.
Chyba měření etalonu odporu bude vyjádřena jako (0,001 ± 0,016) GΩ.

Vyhodnocení kalibrace

Pokud jsou známy výrobcem udávané metrologické vlastnosti kalibrovaného přístroje (specifikace), je možné provést vyhodnocení kalibrace porovnáním naměřené chyby s chybou uvedenou výrobcem kalibrovaného přístroje. Při tom musíme zúžit tolerančního pole o hodnotu nejistoty měření. U chyb uvedených výrobcem musíme rozlišovat pro jaký časový interval je chyba přístroje uvedena. Vždy požadujeme, aby přístroj pracoval v předepsaných mezích až do další rekalibrace. Proto pokud je například rekalibrační interval jeden rok, požadujeme obvkle, aby přístroj čerpal jen omezenou část roční specifikace (20 % - 70 % podle veličin a přesnosti).

Kalibrační list

Tab. 1 Příklad tabulky naměřených hodnot v kalibračním listu.
Měřeno při napětí 1000 V ± 15V

funkce	rozsah	hodnota nastavená na etalonu	naměřená hodnota	chyba naměřená	nejistota pro $k = 2$
GOhm-3W	20 GΩ	10,003 GΩ	10,002 GΩ	-0,001 GΩ	0,016 GΩ

Nekalibrováno

Interpretace výsledků
K dalšímu použití megaohmmetru odporu je třeba uvažovat:

- požadovanou a dosaženou nejistotu kalibrace,
- dlouhodobou stabilitu a drift,
- teplotní koeficient,
- historii kalibrace.

Z toho pak vyplyne, zda je nejistota pro doporučené kalibrace postačující.

Kalibrační výsledky se používají pro určení, zda chování megaohmmetru odporu je správné a v souladu s účelem pro hlavní použití.

Pokud platí že:

- nominální odchylka získaná překročí specifikace výrobce,
- ukáže se nadměrný drift mezi kalibracemi.

Pak můžeme říci, že chování není správné a etalon odporu by měl být oddělen od normálního použití.

Rekalibrační doba
Obecně pro všechny měřiče velkých hodnot odporu je 12 měsíců. Tento interval se může měnit zejména v závislosti na:

- požadované přesnosti,
- použití, pro které je etalon určen,
- je-li pozorován dlouhodobý drift.
-

Při vysokých požadavcích na kvalitu megaohmmetru odporu použitých pro kalibraci jako etalon v laboratoři pro kalibraci, se doporučuje nejprve během prvních dvou nebo třech kalibrací snížit dobu rekalibrace na šest měsíců, za účelem pro získání informací o stabilitě a stárnutí. Pro etalon odporu pro použití se střední a nízkou přesností a v závislosti na výsledcích pozorovaných u předchozí kalibrace, lze toto období prodloužit až na 24 měsíců.

V každém případě je uživatel vždy povinen po rekalibraci megaohmmetru odporu pověřit období rekalibrace a revidovat ho, je-li to nutné, vzhledem k výsledkům týkajícím se provedené kalibrace.

15 Validace

Kalibrační metody podléhají validaci v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17025 čl. 5.4. Validační zpráva je uložena v archivu sekretariátu ČMS.

Upozornění
Tento kalibrační postup byl zpracován a posouzen v rámci úkolu rozvoje metrologie, řešeném pro Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví pod číslem VII/02/17. Nesmí být rozmnožován ani předáván jiným organizacím bez souhlasu České metrologické společnosti.

Neprodejné

Kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky. V případě, že střediskem provádějícím kalibraci je akreditovaná kalibrační laboratoř, měl by být kalibrační postup navíc upraven podle příslušných předpisů (zejména MPA, ILAC a EA a poslední revize normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018.

Tento kalibrační postup byl zpracován, revidován a posouzen v rámci úkolu rozvoje metrologie, řešeném pro Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví pod číslem VII/2/18. Nesmí být rozmnožován ani předáván jiným organizacím a subjektům bez souhlasu ÚNMZ a ČMS.

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

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 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.

Neprodejné

16 Přílohy

Přílohy nejsou přímou součástí kalibračního postupu.
Přílohy uvádí doplňující informace, které by měl kalibrační technik znát ke správnému a kvalifikovanému provedení kalibrace podle uvedeného postupu.

Doporučuje se, aby pracovníci, provádějící předmětné kalibrace se v rámci programu vzdělávání seznámili a opakovaně udržovali znalosti uvedené v přílohách.

Podrobněji viz zejména Low Level Measurements Handbook - 7th Edition, Firemní literatura firmy Keithley, literatura [1] a Kalibrační postup KP 4.1.2/19/17 *Etalony velkých hodnot odporů nad 100 MΩ* ČMS, literatura [5].

Obecné základy měření velkých *R*.

Svodové proudy a stínění
Svodové proudy jsou generovány na bludných cestách mezi odporem a ostatními prvky mezi částmi měřicího obvodu a zdrojů blízkých napětí. Svodový proud je chybový proud, který teče přes izolační odpor při působení napětí. Tento proud může značně snížit přesnost měření. Chcete-li snížit svodové proudy, použijte všude kvalitní izolační látky, je nutné snížit úroveň vlhkosti v testovacím prostředí a používat stínění.

Obecně se stává problémem, když je impedance testovaného etalonu srovnatelná s odporem izolátorů ve zkušebním okruhu.

Použití kvalitní izolační látky při vytváření zkušebního obvodu je jeden způsob, jak snížit svodové proudy. Teflon, polyetylén a safír jsou příklady kvalitních izolantů, ale je nutné se vyhnout materiálům, jako jsou fenoly a nylon.

Vlhkost může také zhoršit výsledky směrem na nižší hodnoty měření odporu. Různé typy izolátorů budou absorbovat různé množství vody ze vzduchu, proto je nejlepší zvolit izolátor, na kterém vodní pára neumožní snadno tvořit souvislý film, a nejlepší je provést měření v dobře klimaticky kontrolované místnosti. V některých případech může být snížena isolace vlivem iontové nečistoty, což může vést k falešným proudům, a to zejména ve vysoké vlhkosti.

Stínění
je velmi účinný způsob, jak snížit svodové proudy. Na guardy je připojena nízká impedance bodu v obvodu, který je na téměř stejném potenciálu jako vysoké impedance vedení, které je určeno k měření a které je chráněno.

Čistota
Například, běžně používané epoxidové desky plošných spojů, pokud nejsou důkladně očištěny od leptacího roztoku nebo jiných nečistot, mohou generovat proudy až několika nanoampérů mezi vodiči. Izolační odpor je možné výrazně snížit vysokou vlhkostí nebo vlivem iontové kontaminace.

Podmínky v laboratoři

Neprodejné

Vysoká vlhkost, kdy dochází ke kondenzaci nebo absorpci vody a iontová kontaminace může být výsledkem působení solí nebo tavidla při výrobě nebo i tělesných tuků při doteku. I když primárním výsledkem těchto kontaminantů je snížení izolačního odporu, kombinace vysoké vlhkosti a iontového znečištění mohou tvořit vodivou cestu, nebo mohou dokonce působit jako elektrochemický článek s vysokou hodnotou sériového odporu. Buňka vytvořená tímto způsobem může vytvořit zdroj proudu v řádu picoamperů nebo nanoamperů, funkční po dlouhou dobu. Aby se zabránilo účinkům znečištění a vlhkosti, vyberte izolátory, které odolávají nasákavosti. Je nutné udržovat vlhkost na nízké úrovni. Také se ujistěte, že všechny izolátory jsou udržovány v čistotě a bez kontaminace. Pokud na izolátorech může dojít ke **kontaminac**i, použijte čisticí prostředek, jako je například isopropylalkohol na všechny isolanty a všechny propojovací obvody. Je důležité spláchnout všechny nečistoty, jakmile jsou rozpuštěny v rozpouštědle. Používejte na čištění pouze velmi čistá rozpouštědla, rozpouštědla s nižším stupně čistoty mohou obsahovat látky, které zanechávají elektrochemický film, a snižují isolační odolnost. Z tohoto důvodu by měly být jakékoliv manipulace na izolátoru minimalizovány, za žádných se okolností se nesmíte izolátorů dotknout rukou nebo jakýmkoliv materiálem, který by mohl kontaminovat povrch. V případě, že se izolátor znečistí, a to například prostřednictvím neopatrné manipulace, může být čištěn odmašťovacím prostředkem za účelem odstranění olejů, a deionizovanou vodou pro odstranění iontové kontaminace. Po vyčištění by izolátor měl vyschnout po dobu několika hodin při nízké vlhkosti. Pokud nedojde ke zvýšení měřeného odporu, nebylo čistění dostatečné.

Okolní **teplota, vlhkost a tlak vzduchu** a ostatní testovací zařízení v okolí kalibrovaného megaohmmetru mají vliv na jeho elektrické vlastnosti. Například odporové prvky, které jsou hermeticky uzavřené, jsou mnohem méně citlivé na změny vlhkosti a tlaku vzduchu. V testovacím prostoru by neměl být přítomen ionizátor vzduchu nebo jiný zdroj ionizujícího záření.

Prostředí, kde je umístěno testovací zařízení by mělo být řízeno, jak je to možné, aby se minimalizovalo tyto účinky a z toho vyplývající nejistoty měření, které indukují. Typicky by mělo prostředí být řízeno tak, aby bylo měření provedeno v rámci 45% ± 5% relativní vlhkosti a 23 °C ± 1 °C. Obvykle neexistuje žádná kontrola a řízení tlaku vzduchu. Zkoušený etalon by měl být pokud možno nejméně jednou namontován do zvláštní komory, kde je tlak vzduchu regulován, a jsou stanovené konkrétní parametry pro posouzení vlivu tlaku vzduchu na zkoušený etalon. Aby bylo možné plně dokumentovat a započítat vliv okolního prostředí na měření zkoušeného megaohmmetru, je nutné zaznamenat okolní teplotu, vlhkost a tlak vzduchu v okolí. Typicky, testovací zařízení bude obsahovat teploměr, vlhkoměr a barometr pro měření a zaznamenejte tlak, okolní teplotu, vlhkost vzduchu.

Umístění vlhkoměru a barometru nejsou kritické, rozdíl ve vlhkosti a tlaku vzduchu v prostoru testovacího pracoviště bude zanedbatelný.

Umístění teploměru je důležitější, protože je často velmi obtížné, aby se zabránilo teplotním rozdílům a to i u dobře regulovaného zkušebního prostoru.

Pro dosažení nejlepších informací o vlivu teploty, je nejlepší sledovat teplotu okolního prostředí v bezprostřední blízkosti zkoušeného megaohmmetru.

Neprodejné

Platinový odporový teploměr, který dokáže změřit teplotu vzduchu uvnitř stíněného krytu, který obsahuje zkoušený etalon je optimum. Monitor prostředí může monitorovat všechny drifty teploty, vlhkosti a tlaku vzduchu okolního prostředí a hlásit je na vyhodnocovací zařízení. Tento monitor prostředí poskytuje možnost automatického zaznamenávání okolních podmínek z hlediska prostředí. Jádrem monitoru prostředí je datový logger, který je schopen přijímat vstupy z různých snímačů v oblasti prostředí a přenášení výsledných dat může zobrazovat. Tato data se vyhodnotí přímo, stejně jako je možné je předat je do osobního počítače, kde běží k získávání dat softwarový program. Softwarový program pro sběr dat je nutné sladit a ukládat data s daty ze současných zkušebních dat měření. Je to důležité, aby bylo možné ignorovat účinky rychlých změn teploty, zejména na zkoušený etalon. Například, aby byl stabilní, a proto vhodnější pro běžné použití, jsou vzduchové odpory, které tvoří převážnou většinu odporů s vysokou hodnotou, navrženy s "tepelnou setrvačností". V podstatě to znamená, že odpor není schopen se rychle změnit se změnami teploty vzduchu v okolí. I když je žádoucí měřit teplotu během měření odporu, teplotě vzduchu v okolí musí být umožněno, aby se stačil měřený prvek stabilizovat (typicky až 90 minut). V ideálním případě, protože prostředí testovacího zařízení má být homogenní, odpor je pak připraven k měření kdykoliv. Nicméně to nemusí být skutečný stav. V případě, že prostor pro skladování odporu je při jiné teplotě než při měření, pak je problém měření odporu tím, že k měření dochází v nesprávné teplotě. Vzhledem k tomu, vzduch bude přenášet pomalé změny teploty na odpor, je možné spustit měření až za 30 nebo 45 minut ale nesmíme si být vědomi rozdílu teplot. Delší měření ukáže drift odporu a usazování na hodnotu spojenou s teplotou pracoviště. Dvě praktická řešení je třeba si vybrat sami. Buď udržet teplotu vzduchu na pracovišti a umožnit odporu stabilizaci, nebo monitorovat teplotu na různých místech v testovacím zařízení a najít místo pro uložení, které úzce sleduje teplotu potřebnou na měření. V případě, že nejistoty způsobené teplotním koeficientem jsou stále ještě příliš velké pro aplikace testu, bude nutné použít nějaké formy zlepšení řízení teploty prostoru. Je důležité mít na paměti, že se mění i proudění vzduchu v testovacím zařízení. Umístění megaohmmetru může odklonit vzdušné proudy a způsobit teplé nebo studené místo. V takové poloze se vzduchové rezistory přizpůsobí nové teplotě. Stejný problém může nastat, pokud se bude zkušební zařízení posouvat a neposoudí se účinek výfukových plynů z chladicího ventilátoru přístrojů pracoviště. Například, jednoduchý kovový stíněný kryt, který je ponechán v proudu vzduchu ze vzduchové lázni, se může zahřát o (3-5)°C.

Soubor všech pracovních etalonů požadovaných pro použití s měřičem vysokého odporu by měl být v laboratoři k dispozici při stejné okolní teplotě. Typický soubor těchto etalonů by měl zahrnovat všechny dekadické hodnoty od 100 MΩ až do 1 PΩ. Kalibrované hodnoty pro tyto etalony by měly být k dispozici při požadovaných hodnotách napětí. Například, v případě, že 100 MΩ odpor ke kalibraci je obvykle měřen digitálním multimetrem pro jeho vysokou přesnost, ale při nízkém napětí (obvykle méně než 10 V) bude to použito u tohoto etalonu. Pokud tento odpor se bude kalibrovat, pak se aplikuje napětí, které je volitelné do 1000 V, pokud ve specifikaci výrobce pro tento odpor je uveden koeficient napětí <0,5 ppm/volt, mohli byste mít rozdíl 500 ppm mezi oběma měřicími systémy. Proto by mělo být použito pro měření požadované napětí, pokud je to možné, aby byl minimalizován vliv koeficientu napětí. Pokud aktuální koeficient napětí není znám, pak bude nezbytné zahrnout možnou hodnotu (maximální), jak je definováno ve specifikacích v rozpočtu nejistoty. Opět platí, že je důležité kalibrovat tento odpor na dvou nebo více napětích, protože je nutné znát skutečný koeficient vlivu napětí nebo aktuální hodnotu na obou místech aby bylo možné minimalizovat nejistotu.

Neprodejné

Elektrostatický výboj (Electrostatic discharge, ESD)
Vznikne, pokud dojde k postupnému vytvoření elektrostatického napětí mezi předmětem a jeho okolím a poté k spontánnímu výboji v podobě impulzu elektrického proudu. Ve velmi krátkém čase dojde k přeskočení elektrického výboje a ke vzniku velkého napětí a proudu na měřené součástce.

Pokud výboj vznikne na pracovišti laboratoře při měření, výboj generuje rušení, které může zvýšit šum při měření.

Elektrostatické náboje mohou být snadno eliminovány z vodivých materiálů uzemněním. Toto uzemnění však nesmí být přímé, ale přes soustavu vybíjecích rezistorů, aby při vybíjení nedocházelo k jiskrovým výbojům nebo i ohrožení bezpečnosti. Energie těchto výbojů by mohla způsobit poškození blízko se nacházejících elektrostaticky citlivých součástek (například v elektronice přístrojů a počítačů. Vybíjecí rezistory tedy zajišťují pozvolné vybíjení vzniklých nebezpečných nábojů. Hodnoty rezistorů jsou dány normami tak, aby časové konstanty přechodových dějů byly optimální. Rezistory se zařazují nejen mezi elektrickou „zem“ a vybíjecí místo, ale i mezi jednotlivá vybíjecí místa pracoviště vzájemně. V nedávné minulosti některé normy předepisovaly odvádět náboje samostatným zemním vodičem. To přinášelo velké komplikace zejména tam, kde se antistaticky ošetřovala stávající pracoviště. Dnes je běžné použití zemního vodiče síťového rozvodu.

Omezení možnosti vzniku elektrostatického náboje úpravami pracoviště
Elektrostatické náboje lze odstraňovat uzemňováním vodivých součástí zařízení, zvyšováním vnitřní vodivosti zařízení, (zvyšováním relativní vlhkosti vzduchu není přípustné nad zvolenou mez), antistatickými úpravami, (ionizací vzduchu není přípustné) apod. V zásadě však tyto náboje nemohou primárně ohrozit bezpečnost obsluhy působením průchodu vybíjecího proudu, mohou ale poškodit citlivá zařízení pro měření malých proudů a velkých odporů a mohou ovlivnit nejistotu měření.

Nejlepším způsobem je předejít vzniku statické elektřiny. Vhodná je řízená vlhkost v laboratoři (kolem 50 %). Je potřebné, aby laboratoř měla na všech dílech pracoviště stejný potenciál jako její okolí. Tedy je třeba všechno, co je možné, uzemnit. Nejlépe je opatřit laboratoř i speciální antistatickou podlahovou krytinou. Tyto krytiny se montují na síť z měděných pásků, kterou se odvede možný náboj. Měřící pracovní plocha, by měla mít povrch ze stejného antistatického materiálu a společný zemnící bod. Oblečení, které by mohlo způsobit vznik elektrostatického náboje, musí být překryto antistatickým pracovním oděvem. Nedoporučuje se oblékat pod něj prádlo a oděvy z hedvábí, polyesteru nebo vlny. Tyto látky tvoří elektrostatický náboj. Je vhodné používat ochranou obuv proti elektrostatickému výboji ve spojení s polovodivou nebo antistatickou podlahou.

Rušivá napětí a proudy, které vznikají triboelektrickým a piezoelektrickým efektem lze eliminovat vhodnými vodiči a tím, že se vodiče ani pracovníci v době měření nepohybují.

Neprodejné