

Sipos Jenő

Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem

sipos.jeno@zmne.hu

Apostol Attila

Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem

apostol.attila@gmail.com

KALIBRÁLÁSI MŰVELETEK: DIGITÁLIS ÉS ANALÓG MULTIMÉTEREK

Absztrakt

Nem elegendő egy műszer alkalmasságára csupán a megvásárlásakor gondolni, a későbbiekben is gondoskodni kell arról, hogy az általa mutatott értékek és a mérendő mennyiség helyes értéke között az összefüggés megmaradjon. Erre szolgál a mérőeszközök zöménél a kalibrálás, amelyet meghatározott periódusidőnként el kell végezni, ha biztosítani kívánjuk a műszerünk által mutatott értékek elfogadhatóságát. Ez a cikk alkalmazási segédletként szolgál az MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szabvány szerinti kalibrálási eljárások készítéséhez, célszerűen követi a NAR-18-VIII dokumentum felépítését.

Thinking about an instrument's adequacy when you buy it is not enough, later on you must take care of it to keep the coherence between the values showed by the instrument and the adequate value of the amounts to be measured. For this reason, for the most of the meters we use calibration, which is needed to be done periodically in order to guarantee the acceptability of the values showed by our instrument. This article is used as an application aid for preparing calibration proceedings in accordance with the standard MSZ EN ISO/IEC 17025:2005, and it expediently follows the structure of the NAR-18-VIII document.

Kulcsszavak: kalibrálás, etalon, mérőeszköz, eredő bizonytalanság ~ calibration, etalon, meter, resultant uncertainty

1. A kalibrálási eljárás hatálya

Ez a kalibrálási eljárás olyan digitális vagy analóg kijelzésű elektromos mérőeszközök kalibrálására vonatkozik, amelyek az alábbi üzemmódok közül eggyel vagy többel (multiméterek) rendelkeznek:

- egyenfeszültség mérése a 0...1000 V feszültségtartományban;
- szinuszos lefolyású váltakozó feszültség effektív értékének mérése a 0...100 V feszültség- és a 10 Hz...100 kHz frekvenciatartományban, a 100...300 V feszültség- és a 40 Hz...30 kHz frekvenciatartományban, illetve a 300...1000 V feszültség- és a 40 Hz...10 kHz frekvenciatartományban.

- egyenáram mérése a 0...20 A áramtartományban;
- szinuszos lefolyású váltakozó áram effektív értékének mérése a 0...300 mA áram- és a 10 Hz...30 kHz frekvenciatartományban, illetve a 0,3...20 A áram- és a 10 Hz...10 kHz frekvenciatartományban;
- egyenáramú elektromos ellenállás mérése 2- és/vagy 4-vezetékes kapcsolásban, a 10 Ω ...400 M Ω ellenállás-tartományban.¹

A kalibrálható mérőeszközök kézi vagy asztali kialakításúak lehetnek, legfeljebb 5^{1/2} digit ($N_{\max} \sim 200000$) kijelzés mellett.

2. A kalibrálás elve

A kalibrálandó mérőeszközök minden üzemmódját etalon státusú célműszerrel (esetünkben Wavetek-9100 tip. kalibrátor) reprodukált mennyiségek közvetlen mérésével kalibráljuk.

3. A kalibrálással meghatározandó metrológiai jellemzők

A metrológiai jellemzők meghatározásának alapja általában a kalibrálandó mérőeszköz gyári specifikációja. Az üzemmódok, a méréshatárok, a frekvenciatartományok meghatározása és az alapfokozat kijelölése, illetve az alkalmazandó kiegészítők (mérővezetékek, stb.) megválasztása ennek segítségével történhet. Általában azonban a kalibrálás a gyári specifikáció hiányában is elvégezhető egyéb pl. a megrendelő kívánsága szerint, a műszaki gyakorlatra alapozva.

A jelen eljárás szerint kalibrált mérőeszközök metrológiai jellemzőit a következők szerint határozzuk meg.

3.1 Linearitás

A linearitás a kalibrált mérőeszköz hibájának, vagy eltérésének – a mért és a helyes érték különbségének – függése a mért értéktől. A linearitás ellenőrzését az alapfokozatnak megfelelő méréstartomány (8.1 pont) alsó és felső méréshatárai között általában egyenlő közösen kijelölt pontokban végezzük el.

Multiméterek áram-, és ellenállásmérő üzemmódjában a linearitást nem ellenőrizzük, csak pontosságellenőrzést végzünk. Egyfunkciós ellenállásmérők linearitás ellenőrzését azoknak az 1 k Ω -hoz legközelebbi méréstartományában végezzük el.

3.2 Pontosság

A pontosság a mérőeszköz értékmutatása és a mért mennyiségnek a kalibráló etalonnal megvalósított értéke közötti egyezés kvantitatív jellemzése a talált eltéréssel. A talált eltérés a kalibrált mérőeszköz hibájának becslése. A mérési hibák a mért értékkel arányosak, ezért a mérőeszköz pontosságát a méréstartományok felső határán, vagy annak közelében ellenőrizzük azokban a méréstartományokban, amelyekben linearitás ellenőrzést nem végeztünk.

¹Természetesen a mérendő mennyiségek, a méréstartományok esetleg a befolyásoló mennyiségek felsorolása tovább folytatható abban az esetben, ha ez az eszköz használata, illetve a kalibrálás eredménye szempontjából fontos. [1]

3.3 Frekvenciafüggés

A frekvenciafüggés a mérőeszköz pontosságának függése az etalonnal generált (szinuszos lefolyású) mérendő mennyiség frekvenciájától. A frekvenciafüggésből eredő járulékos mérési hibák a mért értékkel arányosak, ezért azt a méréstartományok felső határán ellenőrizzük, a gyárilag specifikált alsó- és felső határfrekvencián.

3.4 Egyéb (megrendelői) igények

A teljes körű kalibráláshoz tartozó metrológiai jellemzők egy részének meghatározásától el lehet tekinteni pl. a megrendelő írásbeli megbízása alapján, tehát lehetőség van részkalibrálásra. Minden, a specifikációnak megfelelő teljes körű kalibrálástól a megrendelő igényei miatti eltérést a kalibrálási bizonyítvány megjegyzésében jelezni kell.

4. Jelölések és mértékegységek

A jelen kalibrálási eljárásban használt mennyiségek jelét, megnevezését és az alkalmazható (mérték) egységeket a következő táblázat tartalmazza.

Jel	Megnevezés	Egység
X_m	a kalibrálandó mérőeszkőzzel mért mennyiség	V, A, Ω
X_h	az etalonnal generált mennyiség (helyes érték)	V, A, Ω
u_{ek}	az etalon kalibrálásának standard bizonytalansága	V, A, Ω , vagy relatív
u_{es}	az etalon stabilitásának standard bizonytalansága két visszavezetés között	V, A, Ω , vagy relatív
Δ_e	az etalon specifikált hibatartománya	V, A, Ω , vagy relatív
Δ_{sp}	kalibrált mérőeszköz specifikált hibatartománya	V, A, Ω , vagy relatív
U_{kal}	kalibrálási mérés kiterjesztett bizonytalansága	V, A, Ω , vagy relatív
u_f	a kalibrált műszer véges felbontása miatti standard bizonytalanság	V, A, Ω , vagy relatív
u_{le}	a kalibrált műszer leolvasási standard bizonytalansága	V, A, Ω , vagy relatív
U_{LMK}	a laboratórium legjobb mérési képessége	V, A, Ω , vagy relatív
h	mérési hiba, $h = X_m - X_h$	V, A, Ω
k	kiterjesztési tényező	1
t	környezeti hőmérséklet	$^{\circ}\text{C}$

5. Eszközök

5.1 Etalonok

A kalibráláshoz etalon jelforrásként esetünkben a Wavetek-9100 típusú kalibrátort alkalmazunk. Az ezzel az etalonnal kalibrálható mérőeszközök körét a következők szerint határozzuk meg:

- A mérőeszközöknek csak olyan funkcióit és/vagy méréstartományait kalibráljuk, amelyekre nézve a laboratórium legjobb mérési képességének háromszorosa nem nagyobb,

mint a kalibrálandó mérőeszköz gyári specifikációjának megfelelő $\pm \Delta_{sp}$ hibataromány fél szélessége, azaz a kalibrálás pontossági tartaléka legalább 3. Azaz:

$$\Delta_{sp} \geq 3 \cdot U_{LMK} \quad (5.1)$$

A legjobb mérési képességek meghatározását lásd a 8.3 pontban. [2]

- Nem kalibrálunk $5^{1/2}$ digit-nél ($N_{max} \sim 200000$) hosszabb kijelzésű mérőeszközöket.

5.2 Egyéb mérőeszközök

A környezeti hőmérsékletet a kalibrálás során hőmérővel mérjük.

5.3 Segédeszközök

Az etalon és a kalibrálandó mérőeszköz összekapcsolását annak saját mérővezetékeivel végezzük. Ilyenek hiányában a csatlakoztatásokat 1 m hosszúságú, 2 mm² keresztmetszetű, sodrott, mindkét végén banán csatlakozóval szerelt mérővezetékekkel végezzük el. Négy darab ilyen vezeték az 5.1. pont szerinti etalon tartozékaként kezelünk.

6. Környezeti feltételek és stabilizálódási idő

A kalibrálás egyetlen lényeges befolyásoló mennyisége a laboratóriumi környezet hőmérséklete. A környezeti hőmérsékletnek az etalon és a kalibrálandó mérőeszköz bemelegítésének megkezdése előtt egy órával már, és a kalibrálás teljes tartama alatt az etalon specifikációjának megfelelő $+(23 \pm 5)$ °C hőmérséklettartományban kell lennie. Ezt kalibrált hőmérővel ellenőrizzük, és ezen a hőmérséklettartományon kívül kalibrálást nem végzünk. Az etalon specifikációja szerint a hőmérsékletnek a fenti tartományon belüli változásai járulékos bizonytalanságot nem okoznak.

A metrológiai jellemzők stabilizálódásához az etalon és a kalibrálandó mérőeszköz gépkönyveiben megadott bemelegedési idők közül a hosszabbikat kell biztosítani. A kalibrátor – specifikáció szerint – a bekapcsolás után 90 percnyi bemelegedési időt igényel.

7. Átvétel és előkészítés

7.1 Átvételi feltételek (ellenőrzés)

Kalibrálandó mérőeszközt a laboratórium személyzetének olyan tagja veheti át kalibrálásra, akinek feladata az elektromos mérőeszközök kalibrálása, vagy a kalibrálás felügyelete, irányítása. Mivel a mérőeszköz szállítása csak a gépkönyvében vagy műszerkönyvében előírt módon történhet, ezért átvételkor ellenőrizni kell, hogy az előírt szállítási feltételek teljesültek-e (az előírt rövidzárat, rögzítéseket, védőkupakot, korrózióvédelmet, stb. alkalmazták-e).

7.2 Jelölés (címkézés) és nyilvántartásba vétel

A megrendelés sorszámát az átvevő tünteti fel a műszerkísérő címkén, ő vezeti be (vagy ellenőrzése mellett vezetik be) a megrendelést a kalibrálási nyilvántartóba és ő igazolja az átvételt aláírásával. Az átvevő gondoskodik arról, hogy a mérőeszközt a kalibráló helyiségbe, vagy a beérkező műszerek raktárába szállítsák.

7.3 Előkészítés, beállítások és a működőképesség ellenőrzése

Az etalon kalibrátort és a kalibrálandó mérőeszközt összekapcsoljuk azok gépkönyveiben megadott szempontok szerint. Ezek speciális mérővezetékek alkalmazására, a guard- és a sense vezeték kezelésére, két- és négyvezetékes ellenállásmérésre, a földhurkok elkerülésére, autozéró, szűrő stb. alkalmazására vonatkozhatnak.

Ha a kalibrálandó mérőeszköz telepes táplálású, úgy gondoskodunk az akkumulátor teljes feltöltéséről, vagy az elemeket új alkáli elemekre cseréljük ki. Ha a mérőeszköznek van elemállapot-figyelő opciója, annak információit a kalibrálás ideje alatt figyelemmel kísérjük.

Az etalon és a mérőeszköz kezelőszerveit az első kalibrálási műveletnek megfelelően beállítjuk. A kalibrálandó mérőeszköz elektromos és/vagy mechanikus nulláját szükség szerint beállítjuk.

A kalibrálás során használt etalonokat és a kalibrálandó mérőeszközt bemelegítjük a 6. pont szerint. Ezután a mérőeszköz minden kalibrálandó mérőképességének minden méréstartományában egy mérési ponton ellenőrző mérést végzünk a kalibrálással azonos módon, és a mérések eredményeit azonnal kiértékeljük. Ha durva mérési hibára utaló eredményt kapunk bármelyik ellenőrző mérés során, akkor az etalon működését ellenőrizzük. Ha az ellenőrzés a kalibrálandó mérőeszköz nem megfelelő működését, vagy működésképtelenségét mutatja ki, akkor jegyzőkönyvet veszünk fel. Ennek során a kalibrálással megbízott személyen kívül a laboratórium egy másik munkatársának is jelen kell lennie, aki független tanúként igazolja a jegyzőkönyvben foglaltakat.

Funkcionálisan hibás mérőeszköz kalibrálását nem kezdjük meg, hanem kezdeményezzük a megbízó értesítését.

7.4 Biztonsági intézkedések

Az etalon kalibrátor életveszélyes nagyságú elektromos feszültségek generálására képes. A balesetek elkerülése érdekében a gépkönyvben leírt kezelési eljárás maradéktalan betartását a laboratórium vezetőjének rendszeresen ellenőriznie kell. Nem szabad megengedni helytelen kezelési rutin kialakulását és rögzülését. Ezen felül a kalibráló személy(eke)t a megfelelő, körütekintő munkavégzés ide vonatkozó különös szabályairól rendszeres időközönként oktatni, és az oktatás megtörténtét naplózni kell. Ezt a legalább évenkénti rendszeres baleset-megelőzési oktatás keretében lehet elvégezni.

7.5 Jegyzőkönyv előkészítése

A bemelegítés alatt kell kitölteni a kalibrálási jegyzőkönyvnek a kalibrált eszközre, az etalonra és a kalibrálás körülményeire vonatkozó részét, valamint ellenőrizni és feljegyezni a környezeti hőmérsékletet, amint azokat az előnyomtatott jegyzőkönyv-úrlap tartalmazza.

8. Kalibrálás [2] [3] [4]

8.1 Kalibrálási műveletek

Digitális kijelzésű mérőeszköz kalibrálása során helyes értéknek a kalibrátoron beállított névleges értéket tekintjük korrekció nélkül, a mért értéket pedig a kalibrálandó mérőeszközről olvassuk le. A kalibrált mérőeszköz kijelzésének esetleges instabilitását a 8.2 pont szerint vesszük figyelembe.

Analóg kijelzésű mérőeszköz kalibrálásakor – a leolvasási bizonytalanság csökkentése érdekében – a kalibrátor kimeneti mennyiségének finom szabályozásával állunk rá adott ellenőrzési pontnak megfelelő skálaosztásra. A beállítást két irányból végezzük: monoton

növekvő, és monoton csökkenő kimeneti mennyiség-értékeken keresztül, a csapágysúrlódás miatti hiszterézis figyelembevételére. Ebben az esetben a helyes értéket a 8.2 pont szerint számítással határozzuk meg.

A metrológiai jellemzők mérése során alkalmazott ellenőrzési pontok (névleges értékek) meghatározása a következők szerint történik:

a) Linearitás ellenőrzése digitális kijelzés esetén

A teljes méréstartományt – ha a megrendelő másképp nem rendelkezik – legalább 5 és legfeljebb 9 egyenlő részre osztjuk, és az ellenőrzési pontokat ennek megfelelően tűzzük ki, majd a kalibrálást az aktív 0-nak² megfelelő névleges értékkel kezdjük. A mérőeszköz túlcsoordulásának, vagy az automatikus méréshatár váltásnak elkerülése érdekében a helyes értéket a felső méréshatárra nem állíthatjuk be, ezért a legnagyobb értékű ellenőrzési pontot a felső méréshatár és annak 90 %-a között jelöljük ki.

Abban az esetben, ha a kalibrálandó mérőeszköz gyári specifikációja nem érvényes a teljes méréstartományban, úgy az ellenőrzési pontok kitűzését általában a specifikációnak megfelelően végezzük el kivéve, ha a megrendelő másképpen rendelkezik.

A linearitást a mérőeszköz alapfokozatának megfelelő méréstartományban ellenőrizzük. Alapfokozatban működik a mérőeszköz egyen- vagy váltakozó feszültségmérő üzemmódjának abban a méréstartományában, amelyben a legkisebb bemeneti osztó, és a legkisebb erősítés van bekapcsolva, ezért itt a legjobb a mérőeszköz specifikációja. Ez általában az 1...10 V-hoz legközelebbi méréstartomány.

Egyenfeszültség mérő üzemmódban a linearitás ellenőrzését mindkét polarításban el kell végezni. Váltakozó feszültség mérő üzemmódban a linearitást a specifikált referencia frekvencián, specifikáció hiányában általában 1 kHz-en, kézi multiméterek esetében 50 Hz-en, vagy a specifikált frekvenciahatárok mértani közepének megfelelő frekvencián ellenőrizzük. Ha a mérőeszköznek csak áram üzemmódja van, akkor a 100 mA-hez legközelebbi egyen- és/vagy váltakozóáramú méréshatárban ellenőrizzük a linearitást.

Ellenállásmérő üzemmódban a linearitást az 1 k Ω -hoz legközelebbi méréstartományban ellenőrizzük.

Kapacitásmérő üzemmódban a linearitást az 1 μ F-hoz legközelebbi méréstartományban ellenőrizzük.

Frekvenciamérő üzemmódban a linearitást az 1 kHz-hez legközelebbi méréstartományban ellenőrizzük.

b) Linearitás ellenőrzése analóg kijelzés esetén

A linearitást – ha a megrendelő másképp nem rendelkezik – a skála fő osztásvonalain ellenőrizzük. A kalibrálást a nulla skálaosztáson kezdjük, ahol csak mechanikai, és ha szükséges elektromos nullázást végzünk, rövidrezárt bemenet mellett.

A linearitás ellenőrzésének méréstartományait az a) pont szerintieknek megfelelően választjuk ki az analóg kijelzésű mérőeszközök sajátosságainak figyelembevételével.

Reciprok skálájú analóg mérőeszköz esetén a linearitást csak a megrendelő kívánságára ellenőrizzük, a skála 1-el megírt, és a tőle balra eső, 10-el megírt osztásai között.

c) Pontosság ellenőrzése

Digitális kijelzés esetén a pontosságot a felső méréshatár és annak 90 %-a között, egy ponton ellenőrizzük.

Analóg kijelzés esetén a pontosságot a skála legnagyobb értékű fő osztásvonalán ellenőrizzük.

Reciprok skálájú analóg mérőeszköz esetén – ha a megrendelő másképp nem igényli – minden méréstartományban a skála 1-el megírt osztásánál ellenőrizzük a pontosságot.

d) Frekvenciafüggés ellenőrzése

² 0-ra beállított kimenő mennyiség, bekapcsolt kimenet

A frekvenciafüggést a specifikált alsó- és felső határfrekvenciákon ellenőrizzük, minden méréstartományban azon az ellenőrzési pontján, ahol a pontosságot ellenőriztük referencia frekvencián.

8.1.1 A kalibrálási műveletek sorrendje

Multiméterek esetében a kalibrálási műveletek sorrendje általában a következő:

- DC feszültség alapfokozat linearitása. A linearitás ellenőrzését mindkét polaritású bemeneti feszültséggel elvégezzük.
- DC feszültség méréstartományok pontosságának ellenőrzése mindkét polaritású bemeneti feszültséggel.
- DC áram méréstartományok pontosságának ellenőrzése mindkét polaritású bemeneti árammal.
- AC feszültség alapfokozat linearitásának ellenőrzése referencia frekvencián. A referencia frekvencia kézi multiméterek esetén általában 50 Hz, egyébként 1 kHz.
- AC feszültség méréstartományok pontosságának ellenőrzése referencia frekvencián.
- AC áram méréstartományok pontosságának ellenőrzése referencia frekvencián. A referencia frekvencia kézi multiméterek esetén általában 50 Hz, egyébként 1 kHz.
- AC feszültség méréstartományokban a frekvenciafüggés ellenőrzése.
- AC áram méréstartományokban a frekvenciafüggés ellenőrzése.
- Egyenáramú ellenállás mérés linearitásának ellenőrzése.
- Egyenáramú ellenállás méréstartományok pontosságának ellenőrzése.
- Kapacitás mérés linearitásának ellenőrzése.
- Kapacitás méréstartományok pontosságának ellenőrzése.
- Frekvencia mérés linearitásának ellenőrzése.
- Frekvencia méréstartományok pontosságának ellenőrzése.

Adott kalibrálandó mérőeszköz esetén ez a lista szűkülhet egészen az egyfunkciós mérőeszköz (pl. digitális DC feszültségmérő) kalibrálására is. Minden ilyen esetben a fentieket értelemszerűen kell alkalmazni.

A kalibrálási jegyzőkönyvben feljegyezzük az összes ellenőrzési ponton a kalibrátoron névlegesként beállított X_h helyes értékeket és az ezekhez tartozó X_m mért értékeket, vagy azokat az értékeket, amelyekből a mért- illetve helyes értékeket számoljuk.

Adott esetben minden kalibrálási mérésfajta, azon belül pedig egy-egy linearitásmérési sorozat elvégzése előtt – általában minden méréshatár váltás után, illetve szükség/előírás szerint – a kalibrálandó mérőeszközt nullázni kell. Ehhez esetleg a kábelezést meg kell bontani. A visszaállítás különös gonddal történjen.

8.2 A metrológiai jellemzők kiszámítása

A metrológiai jellemzők számításához szükséges mért- és helyes értékek meghatározásához a következőket vesszük figyelembe:

- Analóg kijelzésű mérőeszköz esetén a két irányból történő osztásra állás során a kalibrátorról leolvasott két érték számtani középértékét fogadjuk el helyes értéknek. Mért értéknek pedig az osztáshoz tartozó névleges értéket tekintjük
- Digitális kijelzés esetén mért értéknek a kalibrátor kapcsolási tranziensének lecsillapodása után kijelzett, stabilizálódott értéket vesszük figyelembe. Ha a kijelzés nem stabilizálódik egyetlen érték mutatására, úgy az instabilitást, vagy ismétlődéppességet a 8.3.2.1 pont szerint vesszük figyelembe.

A kalibrálás során rögzített, vagy kiszámolt összetartozó mért- és helyes értékek különbségeként számítjuk ki a kalibrált műszer hibáját, vagy eltérését:

$$h = X_m - X_h \quad (8.1)$$

Ez a kalibrálás definíció szerű eredménye, annak a következő pontban tárgyalt bizonytalanságával együtt.

8.3 A kalibrálás bizonytalanságának meghatározása

A kalibrálás bizonytalanságát az EA-4/02 dokumentum szerint határozzuk meg. Az eredő mérési bizonytalanság általunk figyelembe vett tényezői a következők.

8.3.1 Az etalon bizonytalanságának tényezői. Legjobb mérési képesség

a) Az etalon visszavezetésének standard bizonytalansága.

Az etalon visszavezetésének (kalibrálásának) U_{ek} eredő kiterjesztett bizonytalanságát a kalibrálási bizonyítvány tartalmazza az etalon minden egyes funkciójára, $k = 2$ kiterjesztési tényezővel. Ebből az etalon kalibrálásának standard bizonytalansága:

$$u_{ek} = U_{ek}/2 \quad (8.2)$$

b) Az etalon stabilitása annak két kalibrálása között.

Az etalon két kalibrálás között (az adott etalon esetében legfeljebb egy évig) érvényes pontossági specifikációját annak gépkönyve tartalmazza. A szimmetrikus, $\pm \Delta_{es}$ alakú specifikáció két hibahatár, amelyek egy $2 \cdot \Delta_{es}$ szélességű hibasávot vagy hibatartományt határoznak meg. A funkcionálisan hibátlan (valamint rendszeresen kalibrált és annak alapján szükség szerint beszabályozott) etalon hibája ebből a tartományból nem lép ki, ezen belül viszont az eloszlásról semmiféle információnk nincs.

Ha az etalon hibáját a fentiek alapján határaival megadott, zérus várható értékű, egyenletes eloszlású valószínűségi változónak tekintjük akkor annak standard bizonytalansága:

$$u_{es} = \frac{2 \cdot \Delta_{es}}{\sqrt{12}} = \frac{\Delta_{es}}{\sqrt{3}} \quad (8.3)$$

c) Az etalonnal kapcsolatos egyéb bizonytalansági tényezők.

Az etalon gépkönyve szerint annak a $+(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ hőmérséklettartományban járulékos, hőmérsékletváltozás miatti hibája nincs.

Az etalon kalibrátoron a kalibrálandó mérőeszköz terhelési hibát nem okoz.

Tekintettel arra, hogy a fentiekén kívül a kalibrálás bizonytalansági tényezői között már csak a kalibrálandó mérőeszköz véges felbontása miatti bizonytalanság szerepel, ezért a laboratórium U_{LMK} legjobb mérési képességeit a (8.1) és (8.2) szerint kiszámított standard bizonytalanságok eredőjének a $k = 2$ kiterjesztési tényezővel való szorzataként határozzuk meg:

$$U_{LMK} = 2 \cdot \sqrt{u_{ek}^2 + u_{es}^2} \quad (8.4)$$

A kalibrálási szolgáltatások táblázatának megfelelő oszlopában az így kiszámított értékek szerepelnek.

8.3.2 A kalibrált mérőeszköz kijelzéséből eredő bizonytalanság

8.3.2.1 Digitális kijelzésnél a legkisebb helyi érték 1 digitjénél finomabb kijelzés nem lehetséges, azaz a digitális kijelzésnek rendszertechnikai okból van egy $\Delta_f = 1$ digit szélességű holt sávja. Ezzel a felbontásból eredő standard bizonytalanság:

$$u_f = \frac{d}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,29 \cdot d \quad (8.5)$$

ahol d a legkisebb kijelzett helyi érték 1 digitjének megfelelő mennyiség. A felbontási bizonytalanságnak az \bar{X}_m mért értékre vonatkozó %-os relatív értéke:

$$u_{fr}^{\%} = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{d}{X_m} \cdot 100 = 29 \cdot \frac{d}{X_m} \quad (8.6)$$

Ha a kalibrálandó mérőeszköz kijelzése a tranzien্স lecsengése után a legkisebb helyi érték egy digitjénél nagyobb ingadozásokat mutat a zaj miatt, akkor a következők szerint járunk el:

a) Rövid ideig megfigyelve a mért értékeket, megállapítjuk és feljegyezzük a legkisebb X_{mmin} és a legnagyobb X_{mmax} mért értéket.

b) Meghatározzuk ezek különbségét és a (8.5)-ben d helyére ezt helyettesítjük:

$$d_{zaj} = X_{mmax} - X_{mmin}$$

c) Mért értéknek ebben az esetben az alábbi átlagot fogadjuk el:

$$X_{mátlag} = (X_{mmax} + X_{mmin})/2 \quad (8.7)$$

A kiszámított átlagértéket a komponensek legkisebb helyi értékéig kerekítjük.

d) Relatív érték számításához (8.6)-ba d_{zaj} és $X_{mátlag}$ értékeit helyettesítjük.

Az instabil kijelzés megfigyelt határai közötti tartomány nem lehet nagyobb, mint a legkisebb helyi értékű digit tízszerese. Ha a talált instabilitás nagyobb, úgy ezt a kalibrálási bizonyítvány megjegyzés rovatában közöljük.

8.3.2.2 Analóg kijelzés esetén a leolvasási hiba okoz bizonytalanságot. Ha a skála osztásértéke d , és a mutató helyzetét ennek tört, m -ed részényi leolvasási hibával tudjuk megbecsülni, akkor a leolvasásból eredő standard bizonytalanság:

$$u_{le} = \frac{d}{2 \cdot m \cdot \sqrt{3}} \quad (8.8)$$

Ennek az X_m mért értékre vonatkoztatott százalékos értéke:

$$u_{ler}^{\%} = \frac{1}{2 \cdot m \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{d}{X_m} \cdot 100 = \frac{29}{m} \cdot \frac{d}{X_m} \quad (8.9)$$

Osztásközben álló mutató esetén $m = 2 \dots 5$ lehet, osztásra állított mutató esetén – a jelen eljárás szerinti kalibrálásoknál minden esetben – pedig $m = 10 \dots 20$ értéket lehet figyelembe venni a skálahossztól, az osztások számától, valamint a mérő személy gyakorlottságától függően. Ebben a kalibrálási eljárásban $m = 10$ értéket választunk a leolvasás standard bizonytalanságának becsléséhez. Ezzel:

$$u_{le} = 0,029 \cdot d \quad (8.8.a)$$

illetve

$$u_{ler}^{\%} = 2,9 \cdot \frac{d}{X_m} \quad (8.9.a)$$

8.3.3 A kalibrálás eredő bizonytalansága

A kalibrálás eredő standard bizonytalansága a 8.3.1 és 8.3.2 pontokban kiszámított standard bizonytalanságok eredője:

$$u_{kal} = \sqrt{u_{ek}^2 + u_{es}^2 + [u_f \text{ vagy } u_{le}]^2} \quad (8.10)$$

A kalibrálás eredő kiterjesztett bizonytalansága $k = 2$ kiterjesztési tényező mellett:

$$U_{kal} = 2 \cdot u_{kal} \quad (8.11)$$

Az alábbiakban táblázatos formában bemutatjuk a jelen eljárás szerinti kalibrálási mérések bizonytalansági járulékaiknak becslését tipikus esetekre vonatkozóan. A számításokat a 8.3.1, a 8.3.2 és a 8.3.3 pontok szerint végeztük el.

a) Egyenfeszültség mérő. Méréshatár: 20 V, kijelzés: 4 ¹/₂ digit, kalibrálás a mh-on.

Bizonytalansági járulékot okozó mennyiség	Becslése	Standard bizonytalanság értelmezése	Értéke $u(x_i)$	Érzékenységi együttható c_i	$c_i \cdot u(x_i)$
Etalon értéke kalibrálás után	X_h	$u_{ek} = U_{ek}/2$	0,40mV	1	0,40 mV

Etalon stabilitása két kalibrálás között	0	$u_{es} = \Delta_{es}/\sqrt{3}$	0,98 mV	1	0,98 mV
Kalibrálandó műszerrel mért érték	X_m	$u_f = d/(2 \cdot \sqrt{3})$	0,29 mV	1	0,29 mV
Hiba:	$h = X_m - X_h$	Eredő standard bizonytalanság:			$u(y) = 1,1 \text{ mV}$

A kalibrálás eredő kiterjesztett bizonytalansága $k = 2$ mellett: $U_{kal} = 2,2 \text{ mV}$, ami relatív értékben megfelel **0,011 %**-nak a mért értékre vonatkoztatva.

b) Egyenáram mérő. Méréshatár: 20 mA, kijelzés: $4 \frac{1}{2}$ digit, kalibrálás a mh-on.

Bizonytalansági járulékot okozó mennyiség	Becslése	Standard bizonytalanság értelmezése	Értéke $u(x_i)$	Érzékenységi együttható c_i	$c_i \cdot u(x_i)$
Etalon értéke kalibrálás után	X_h	$u_{ek} = U_{ek}/2$	1,2 μA	1	1,2 μA
Etalon stabilitása két kalibrálás között	0	$u_{es} = \Delta_{es}/\sqrt{3}$	2,1 μA	1	2,1 μA
Kalibrálandó műszerrel mért érték	X_m	$u_f = d/(2 \cdot \sqrt{3})$	0,29 μA	1	0,29 μA
Hiba:	$h = X_m - X_h$	Eredő standard bizonytalanság:			$u(y) = 2,4 \mu\text{A}$

A kalibrálás eredő kiterjesztett bizonytalansága $k = 2$ mellett: $U_{kal} = 4,8 \mu\text{A}$, ami relatív értékben megfelel **0,024 %**-nak a mért értékre vonatkoztatva.

c) Váltakozó feszültség mérő. Méréshatár: 200 V, kijelzés: $3 \frac{1}{2}$ digit, frekvencia: 1 kHz, kalibrálás a mérés határon.

Bizonytalansági járulékot okozó mennyiség	Becslése	Standard bizonytalanság értelmezése	Értéke $u(x_i)$	Érzékenységi együttható c_i	$c_i \cdot u(x_i)$
Etalon értéke kalibrálás után	X_h	$u_{ek} = U_{ek}/2$	13 mV	1	13 mV
Etalon stabilitása két kalibrálás között	0	$u_{es} = \Delta_{es}/\sqrt{3}$	23 mV	1	23 mV
Kalibrálandó műszerrel mért érték	X_m	$u_f = d/(2 \cdot \sqrt{3})$	29 mV	1	29 mV
Hiba:	$h = X_m - X_h$	Eredő standard bizonytalanság:			$u(y) = 39 \text{ mV}$

A kalibrálás eredő kiterjesztett bizonytalansága $k = 2$ mellett: $U_{kal} = 78 \text{ mV}$, ami relatív értékben megfelel **0,039 %**-nak a mért értékre vonatkoztatva.

d) Váltakozó áram mérő. Méréshatár: 2 A, kijelzés: $3 \frac{1}{2}$ digit, frekvencia: 50 Hz

Bizonytalansági járulékot okozó mennyiség	Becslése	Standard bizonytalanság értelmezése	Értéke $u(x_i)$	Érzékenységi együttható c_i	$c_i \cdot u(x_i)$
Etalon értéke kalibrálás után	X_h	$u_{ek} = U_{ek}/2$	0,24 mA	1	0,24 mA

Etalon stabilitása két kalibrálás között	0	$u_{es} = \Delta_{es}/\sqrt{3}$	1,4 mA	1	1,4 mA
Kalibrálandó műszerrel mért érték	X_m	$u_f = d/(2 \cdot \sqrt{3})$	0,29 mA	1	0,29 mA
Hiba:	$h = X_m - X_h$	Eredő standard bizonytalanság:			$u(y) = 1,45 \text{ mA}$

A kalibrálás eredő kiterjesztett bizonytalansága $k = 2$ mellett: $U_{kal} = 2,9 \text{ mA}$, ami relatív értékben megfelel **0,15 %**-nak a mért értékre vonatkoztatva.

e) Ellenállásmérő. Mérés határ: 1000Ω , kijelzés: $5 \frac{1}{2}$ digit, kalibrálás 1000Ω -on

Bizonytalansági járulékokat okozó mennyiség	Becslése	Standard bizonytalanság értelmezése	Értéke $u(x_i)$	Érzékenységi együttható c_i	$c_i \cdot u(x_i)$
Etalon értéke kalibrálás után	X_h	$u_{ek} = U_{ek}/2$	140 mΩ	1	140 mΩ
Etalon stabilitása két kalibrálás között	0	$u_{es} = \Delta_{es}/\sqrt{3}$	130 mΩ	1	130 mΩ
Kalibrálandó műszerrel mért érték	X_m	$u_f = d/(2 \cdot \sqrt{3})$	2,9 mΩ	1	2,9 mΩ
Hiba:	$h = X_m - X_h$	Eredő standard bizonytalanság:			$u(y) = 190 \text{ mΩ}$

A kalibrálás eredő kiterjesztett bizonytalansága $k = 2$ mellett: $U_{kal} = 380 \text{ mΩ}$, ami relatív értékben megfelel **0,038 %**-nak a mért értékre vonatkoztatva.

8.4 Minősítés

Ha azt a megrendelő kéri, a kalibrálási bizonyítvány minősítés rovatában minősítjük a mérőeszközt. A minősítés alapjául szolgáló metrológiai jellemzők megengedett határértékeinek forrása lehet:

- a gyártó által kiadott gépkönyv,
- szabvány, vagy egyéb ágazati előírás,
- jogszabály, vagy
- a felhasználó által közölt, a szándékolt alkalmazásnak megfelelő hibahatár(ok).

A minősítés csak metrológiai jellemzőkre vonatkozhat, és meg kell adni, hogy a megfelelőségi/nemmegfelelőségi állítás a vonatkozó specifikáció mely pontjára (pontjaira) vonatkozik.

Megfelelőség csak akkor tanúsítható, ha a kalibrálás U_{kal} eredő kiterjesztett bizonytalansága elég kicsi a specifikált Δ_s tűréshez, vagy hibahatárhoz képest. A laboratórium vállalt pontossági tartaléka (5.1 pont) ezt biztosítja.

A jelen kalibrálási eljárásban szereplő többfunkciós mérőeszköz esetén minden egyes üzemmódra külön-külön lehet minősítést adni. A minősítés megadásának feltételei:

a) A mérőeszköz megfelel az előírásnak, ha minden egyes ellenőrzési ponton

$$|h| + U_{kal} < \Delta_s$$

b) Sem a megfelelőség, sem a nemmegfelelőség nem igazolható, ha legalább egy ellenőrzési ponton

$$|h| + U_{\text{kal}} > \Delta_s \quad \text{és} \quad |h| - U_{\text{kal}} < \Delta_s$$

Ha ebben az esetben $|h| < \Delta_s$, úgy a mérőeszköz megfelelése valószínűbb, míg ha $|h| \geq \Delta_s$, úgy a mérőeszköz nemmegfelelése valószínűbb.

c) A mérőeszköz nem felel meg az előírásnak, ha legalább egy ellenőrzési ponton

$$|h| - U_{\text{kal}} > \Delta_s$$

ahol:

$|h|$ a mérőeszköz (8.1) képlettel definiált hibájának abszolút értéke adott ellenőrzési ponton,

U_{kal} a kalibrálás eredő kiterjesztett bizonytalansága ugyanitt,

Δ_s a specifikált tűrés, vagy hibahatár.

A laboratórium által közölt minősítés megbízhatósága kb. 95 %, a kalibrálási bizonytalanság meghatározásának megfelelően.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] NAR-18-VIII Útmutató nem szabványos kalibrálási eljárások tartalmára és felépítésére Nemzeti Akkreditáló Testület, Budapest, 2002. január

[2] NAR-EA 4/02 A mérési bizonytalanság meghatározása kalibrálásnál, Nemzeti Akkreditáló Testület, Budapest, 2003. január

[3] Útmutató a mérési bizonytalanság kifejezéséhez (GUM), Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest, 1995

[4] Guidelines on Assessment and Reporting of Compliance with Specification, ILAC G8, 1996

Reményi Tibor: Füg-e a kalibrálás bizonytalansága a kalibrált műszertől? (Mérésügyi Közlemények, 2000. június)

http://www.meter.hu/kalibralni_pedig_kell, 2007.05.06 (2008.08.13.)

MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 Vizsgáló- és kalibrálólaboratóriumok felkészültségének általános követelményei, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2006. május 1.

NAR-22-VIII Segédlet mérési bizonytalanság számításához kalibrálásnál, Nemzeti Akkreditáló Testület, Budapest, 2002. január

Nemzetközi Metrológiai Értelmező Szótár (VIM), OMH - MTA-MMSZ, Budapest, 1998