



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

Metodika provozního měření

MPM 4.1.2/01/17

**METODIKA PROVOZNÍHO MĚŘENÍ NAPĚTÍ
V PRŮMYSLOVÝCH APLIKACÍCH**

Praha
říjen 2017

Vzorový metodický postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2017

Číslo úkolu: VII/3/17

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

Řešitel: Česká metrologická společnost, z.s.

© ÚNMZ, ČMS

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

1 Předmět metodiky

Tento metodický postup se vztahuje na průmyslové měření stejnosměrného a střídavého elektrického napětí. Měřicí rozsah není omezen, rozsahy používané v praxi jsou od jednotek milivolt až po desítky kV. Odečet hodnoty může být analogový, digitální nebo na zařízení zobrazující časový průběh měřeného napětí. Přesnost měření je dána konkrétní aplikací od desetitisícin procenta pro laboratorní měření až po jednotky procent pro indikační měření (např. v těžkém průmyslu).

2 Související normy a metrologické předpisy

ČSN 33 2000-4-41	Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti - Ochrana před úrazem elektrickým proudem	[L1]
Vyhláška č.50/1978 Sb.	Vyhláška č. 50/1978 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu o odborné způsobilosti v elektrotechnice.	[L2]
ČSN EN ISO 9001	Systémy managementu kvality - Požadavky	[L3]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[L4]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří	[L5]
EA-4/02 M:2013	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích	[L6]
ČSN EN 61187	Elektrická a elektronická měřicí zařízení. Průvodní dokumentace	[L7]
ČSN EN 60051-1	Elektrické měřicí přístroje přímopůsobící ukazovací analogové a jejich příslušenství. Část 1 : Definice a všeobecné požadavky společné pro všechny části.	[L8]
ČSN IEC 51-2	dtto Část 2: Speciální požadavky pro ampérmetry a voltmetry.	[L9]
ČSN IEC 51-8	dtto Část 8: Speciální požadavky pro příslušenství.	[L10]
ČSN IEC 51-9	dtto Část 9: Doporučované zkušební metody.	[L11]
ČSN EN 61 143-1	Elektrické měřicí přístroje. Zapisovače X-t. Část 1: Definice a požadavky.	[L12]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících měření

Kvalifikace pracovníků provádějících měření napětí v průmyslových aplikacích je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s metodickým postupem upraveným na konkrétní podmínky daného pracoviště provádějícího měření a případnými (interními) souvisejícími předpisy.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například osvědčením o interním zaškolení, o absolvování odborného kurzu, v krajním případě certifikátem odborné způsobilosti. Úroveň školení závisí na zařazení pracovníka a důležitosti prováděné měřicí operace.

Podle prováděné měřicí operace je pracovník povinen prokázat způsobilost dle příslušného paragrafu vyhlášky č. 50/78 Sb., to znamená v případě pouze odečtu naměřených hodnot alespoň podle §4, v případě obsluhy celého zařízení nebo zapojování měřících obvodů alespoň podle §6.

4 Názvosloví, definice

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

5 Měřidla a pomocná měřicí zařízení

- Voltmetr analogový (měřená hodnota je indikována ručkou nebo světelným ukazatelem),
- voltmetr digitální (měřená hodnota je indikována číslem zobrazeným na displeji),
- multimetr analogový (přístroj měřící kromě napětí i jiné elektrické veličiny),
- multimetr digitální (přístroj měřící kromě napětí i jiné elektrické veličiny),
- bargraf (měřená hodnota je indikována počtem rozsvícených segmentů, např. LED diod),
- osciloskop (přístroj s obrazovkou vykreslující časový průběh měřeného napěťového signálu),
- zapisovač (přístroj s obrazovkou nebo zápisem na papír vykreslující časový průběh měřeného napěťového signálu),
- měřicí karta (přístroje s výstupem na sběrnici USB, GP-IB, LAN apod., připojitelné přes WiFi, nainstalované do slotu stolního PC),
- předřadné odpory,
- měřicí transformátory napětí,
- děliče napětí,
- vysokonapěťové sondy nebo děliče.

Poznámka: Všechna použitá měřidla a pomocná měřicí zařízení musí být navázána na etalon vhodného rozsahu a přesnosti a musí mít platnou kalibraci.

6 Obecné podmínky měření – veličiny ovlivňující výsledky měření

Podmínky prostředí, ve kterých je možné používat dané měřidlo, jsou určeny výrobcem měřidla nebo normami příslušnými pro dané měřidlo. Nedodržení těchto podmínek je nutné brát v potaz při vyhodnocení přesnosti měření nebo výpočtu nejistoty měření, případně je nutné použít jiný typ měřidla.

Pro měřidla obsahující v konstrukci elektroniku obvykle výrobce měřidel určuje rozsah použití teploty v rozmezí $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$, pro teploty mimo tento rozsah výrobce určuje tzv. teplotní koeficient, který je nutné připočítat při výpočtu přesnosti měření.

Pro přístroje napájené z elektrické sítě je nutné, aby napětí sítě bylo v rozmezí dle specifikace výrobce, pro přístroje napájené z baterií nebo akumulátorů obdobně.

U elektronických měřidel vyšší přesnosti dále výrobce určuje tzv. dobu náběhu (warm-up), což je doba, po kterou musí být přístroj zapnut, než dosáhne plné přesnosti. Měření je nutné zahájit až po uplynutí této doby

U analogových přístrojů je zvláště nutné dodržet polohu přístroje podle značky na stupnici (poloha vodorovná nebo svislá). Přístroje, které v konstrukci mají magnet, nesmí být umístěny na kovové podložce.

Ostatní podmínky prostředí (např. vnější elektrické nebo magnetické pole) nemají ve většině průmyslových aplikací přímý vliv na výsledek měření a posuzují se subjektivně podle podmínek daného pracoviště.

7 Metrologické meze využití metody měření

Rozsahy měření jsou dány rozsahem použitého měřidla. Měřidla je nutné používat s příslušenstvím dodaným nebo doporučeným výrobcem měřidla. Nevhodné měřicí šnůry nebo měřicí sondy mohou ovlivnit výsledek měření. Pokud není příslušenství měřidel určeno výrobcem, musí být rozměry a umístění vodičů takové, aby neovlivňovalo výsledky měření a bylo bezpečné pro zařízení i obsluhu.

8 Kontrola měřidla před použitím a příprava na měření

Měřicí přístroj se připraví pro měření v souladu s technickou dokumentací nebo údaji uvedenými na přístroji. Provede se vnější prohlídka přístroje:

- kryt přístroje a kryt stupnice nejsou poškozeny,
- přístroj je vybaven všemi součástkami a příslušenstvím potřebným k měření,
- všechny technické údaje o přístroji uvedené na stupnici, přepínači rozsahů, svorkách a krytu přístroje jsou zřetelné.

Dále se provede kontrola provozuschopnosti:

- připojovací svorky jsou spolehlivě upevněné a nepoškozené,
- přepínače měřicích rozsahů jsou funkční a mají správnou aretaci odpovídající zvolenému měřicímu rozsahu,
- zjistí se, zda všechny ovládací prvky mechanicky správně pracují,
- zjistí se, zda přístroj na všech jeho kalibrovaných funkcích elektricky správně pracuje,
- zjistí se, zda je možné nastavit nulový údaj, případně dovolenou odchylku od nuly, na všech měřicích rozsazích a ve všech kalibrovaných funkcích přístroje.

U analogových přístrojů nutné nejprve nastavit mechanickou nulu následujícím způsobem:

- stavítkem mechanické nuly se v potřebném směru přivede ukazovatel na nulovou značku,
- v průběhu posouvání ukazovatele se poklepává na pouzdro přístroje,
- když je ukazovatel nastaven na nulovou značku, obrátí se směr pohybu stavítka mechanické nuly a pohne se jím v mezích mechanické vůle (mrtvého chodu), avšak tak, aby nedošlo ke změně polohy ukazovatele.

Poznámka: U přístrojů bez stavítka mechanické nuly, nebo u přístrojů, které mají mechanickou nulu vně stupnice, nesmí být znovu nastavení prováděno.

U analogových přístrojů s elektronikou se po zapnutí přístroje provede nastavení elektrické nuly obdobným způsobem.

Na digitálních a elektronických přístrojích se nastavení nuly provádí pouze přístrojů s vyšší rozlišovací schopností podle návodu výrobce.

Některé elektronické přístroje (multimetry s vyšším rozlišením, osciloskopy) jsou vybaveny funkcí autokalibrace, která by se měla provádět v intervalech doporučených výrobcem.

U přístrojů vybavených vnějšími kalibračními regulačními prvky se zjistí, zda je lze nastavit ve stanovených mezích.

Pokud je to možné, u digitálních přístrojů je vhodné před vlastním měřením vyzkoušet zda svítí všechny segmenty displeje (při poruše sedmissegmentového displeje může snadno dojít k záměně číslic 0 a 8 nebo 5 a 6), u analogových přístrojů při zvyšování nebo snižování napětí je pohyb ukazatele plynulý.

Měřidlo, které vykazuje nedostatky, nelze dále k měření používat.

U přístrojů v aplikacích pouze indikačních (rozvaděčové) je možné některé kroky zjednodušit.

9 Postup měření

Elektrické napětí se měří voltmetrem nebo přístrojem uvedeným v kapitole 5 tohoto postupu, který se připojuje paralelně k měřenému obvodu. Pro co největší přesnost měření

je nutné zajistit, aby měřicí přístroj nezatěžoval měřený obvod, tedy aby jím procházel co nejmenší proud. Vnitřní odpor měřicího přístroje musí být co největší, protože je připojen paralelně k měřenému obvodu.

Příklad: měření napětí na odporové součástce s odporem $100\text{ k}\Omega$, při měření napětí digitálním multimetrem se vstupním odporem $10\text{ M}\Omega$ se výsledný odpor paralelní kombinace sníží o 1 %, při měření osciloskopem nebo měřicí kartou se vstupním odporem $1\text{ M}\Omega$ se výsledný odpor paralelní kombinace sníží o 9,1 %.

Při měření analogovými přístroji je nutné brát v úvahu hysterezi analogového přístroje, což znamená, že přístroj měří rozdílné hodnoty při zvyšování napětí (pohybu ukazatele směrem nahoru) a při snižování napětí (pohybu ukazatele směrem dolů). Přístroj však musí splňovat podmínku, že hystereze je menší než třída přesnosti přístroje.

U digitálních přístrojů, které to umožňují, pro stejnosměrné napětí je důležité nastavení tzv. doby integrace, což je údaj vyjadřující počet odměrů za jednotku času. Pro napětí, která jsou stabilní, a hodnota se mění minimálně, je vhodné volit dobu integrace dlouhou (NPLC = 10 nebo 100, kde NPLC znamená počet cyklů napětí sítě, tedy při frekvenci síťového napětí 50 Hz bude počet odměrů 5 /s pro NPLC = 10 nebo 0,5 /s pro NPLC = 100). Podobné je to při měření střídavého napětí, kde je nutné správně nastavit vstupní filtr podle frekvence měřeného napětí.

Při měření střídavých napětí digitálním voltmetrem nebo multimetrem je potřeba správně vyhodnotit měřenou aplikaci, resp. průběh (tvar) měřeného napětí. Přístroje označené jako TRMS měří tzv. pravou efektivní hodnotu, tedy efektivní hodnotu nezávislou na průběhu (tvaru měřeného střídavého napětí). U přístrojů označených RMS přístroj měří efektivní hodnotu pouze signálů sinusového průběhu, při ostatních průbězích (tvarech) může měřit s velkou chybou.

Je-li potřeba změřit větší napětí, než pro které je měřicí přístroj určen, může se k němu do série zapojit tzv. předřadný odpor R_p takové velikosti, aby se měřené napětí U rozdělilo ve vhodném poměru na napětí na předřadném odporu U_p a napětí na voltmetru U_v . Přitom platí, že $U = U_p + U_v$. Odpor předřadného odporu pak musí mít velikost podle vztahu:

$$R_p = R_v \cdot (n - 1),$$

Kde: R_p je odpor předřadníku,
 R_v je vstupní odpor voltmetru,
 n je násobek zvýšení rozsahu měřicího přístroje.

Také je možné použít vhodný odporový dělič. Při jeho konstrukci je však nutné zohlednit vstupní odpor měřicího přístroje, viz příklad uvedený výše.

Změna rozsahu u měřicích přístrojů při měření střídavého napětí je také možná tzv. měřicím transformátorem napětí, kde celkový rozsah je součin převodu transformátoru a rozsahu měřicího přístroje.

Volba typu měřicího přístroje – analogový nebo digitální - závisí na měřené aplikaci. U analogových přístrojů je možné sledovat trend nebo změny měřeného napětí, samozřejmě

s horší přesností odečtu, u digitálních přístrojů je změna čísla na displeji rychlá nebo příliš velká a neumožňuje odečet s výjimkou případů importu naměřených hodnot do vhodného programu, což ale nelze u přístrojů s vhodnou sběrnicí. Digitální přístroje naopak umožňují přesnější a pohodlnější odečet, přenos dat do počítače a jejich další vyhodnocení.

Pro měření speciálních aplikací napětí je možné použití osciloskopů, které zobrazují průběh napětí v čase. Osciloskopy nedosahují přesnosti digitálních měřidel (multimetrů), přesnost je obvykle v jednotkách procent, ale naopak je s nimi možné měřit napětí o vysokých frekvencích – až do rozsahů GHz a dále je možné měřit napěťové pulsy, které jsou na měřeném objektu velmi krátkou dobu (řádově až pikosekundy). V takovém případě se používá pouštění časové základny SINGLE.

Měřicí karty připojené k počítači jsou speciální měřidla, u kterých je možné měřit napětí ve více kanálech současně. Programové vybavení dodávané s těmito zařízeními umožňují exportovat naměřené hodnoty ve formě grafu nebo ve formátu tabulky MS Excel.

10 Stanovení nejistoty při měření napětí (příklad)

Příklad výpočtu nejistot měření pro analogový měřicí přístroj:

Měření stejnosměrného napětí laboratorním voltmetrem třídy přesnosti 0,2 %; délka stupnice 150 dílků;

Výpočet nejistoty typu A:

Je proveden v souladu s dokumentem EA-4/02 M:2013

Průměrná hodnota:
$$\bar{V} = \frac{\sum V_i}{n}$$

Směrodatná odchylka:
$$s_V = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (V_i - \bar{V})^2}$$

Odhad rozptylu:
$$s_x^2 = \frac{1}{n} s_V^2$$

Nejistota typu A:
$$u_A = \sqrt{s_x^2}$$

Průměrná hodnota by podle výše uvedeného dokumentu měla být počítána alespoň z 10 odměrů.

Poznámka: V běžné průmyslové praxi je takové měření nereálné z důvodu velké časové náročnosti nebo neopakovatelnosti měřeného děje. Pak je nutné nejistotu typu A odhadnout na základě zkušenosti nebo na základě výpočtu obdobných typů měření, kde bylo možné alespoň 10 odměrů provést.

$$u_A = \sqrt{s_x^2} = 0,05 \% \text{ - odhad}$$

$u_{B1} = 0,2$ - přesnost měřidla; zjištěno ze značky přístroje na stupnici

$u_{B2} = 0,026 \%$ - nejistota kalibrace měřidla; zjištěno z kalibračního listu měřidla jako hodnota pro koeficient rozšíření $k = 2$

$u_{B3} = 0,03 \%$ - zdroj nejistoty na odečitelnost (rozlišení) ze stupnice; odhad (stupnice podložena zrcátkem, čtení přes malou čtecí lupu se zvětšením 4x)

$$u_B = \sqrt{\left(\frac{u_{B1}}{\sqrt{3}}\right)^2 + u_{B2}^2 + \left(\frac{u_{B3}}{\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,2}{\sqrt{3}}\right)^2 + 0,013^2 + \left(\frac{0,03}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,012\%$$

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0,01^2 + 0,0058^2} = 0,13 \%$$

$$U_{k=2} = 2u = 2 \cdot 0,13 = 0,26 \%$$

Přehled nejistot:

Zdroj nejistot	Odhad	Pravděpodobnost rozdělení	Standardní nejistota	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě
u_A	0,05 %	normální	0,05 %	1	0,05 %
u_{B1}	0,2 %	rovnoměrné	0,11 %	1	0,11 %
u_{B2}	0,013 %	normální	0,013 %	1	0,013 %
u_{B3}	0,03 %	rovnoměrné	0,017 %	1	0,017 %
U					0,26 %

Příklad výpočtu nejistot měření pro digitální měřicí přístroj:

Měření stejnosměrného napětí digitálním multimetrem s rozlišením $3 \frac{1}{2}$.

Výpočet nejistoty typu A:

Je proveden v souladu s dokumentem EA-4/02 M:2013

Průměrná hodnota:
$$\bar{V} = \frac{\sum V_i}{n}$$

Směrodatná odchylka:
$$s_V = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (V_i - \bar{V})^2}$$

Odhad rozptylu:
$$s_x^2 = \frac{1}{n} s_V^2$$

$$\text{Nejistota typu A: } u_A = \sqrt{s_x^2}$$

Průměrná hodnota by podle výše uvedeného dokumentu měla být počítána alespoň z 10 odměřů.

Poznámka: V běžné průmyslové praxi je takové měření nereálné z důvodu velké časové náročnosti nebo neopakovatelnosti měřeného děje, pokud není možný odečet po sběrnici (USB, GP-IB, LAN apod.) Pak je nutné nejistotu typu A odhadnout na základě zkušenosti nebo na základě výpočtu obdobných typů měření, kde bylo možné alespoň 10 odměřů provést.

$$u_A = \sqrt{s_x^2} = \text{zanedbatelná}$$

(příklad měření napětí akumulátoru, jehož hodnota je konstantní a rozlišení přístroje malé, tedy všechny hodnoty mají stejnou hodnotu).

$u_{B1} = 0,58 \%$ - přesnost měřidla; zjištěno z technické dokumentace měřidla
(příklad: rozsah multimetru 20 V; měřená hodnota 12 V, přesnost měřidla dle dokumentace 0,5 % z hodnoty + 1 digit, tedy 0,5 % z hodnoty +0,05 % z rozsahu),

$u_{B2} = 0,10 \%$ - zjištěno z kalibračního listu multimetru jako hodnota pro koeficient rozšíření $k = 2$,

$u_{B3} = 0,042 \%$ - zdroj nejistoty vyjadřující konečnou rozlišovací schopnost multimetru; při rozlišení kalibrovaného voltmetru 3 ½ dig.

$$u_B = \sqrt{\left(\frac{u_{B1}}{\sqrt{3}}\right)^2 + u_{B2}^2 + \left(\frac{u_{B3}}{\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,58}{\sqrt{3}}\right)^2 + 0,05^2 + \left(\frac{0,042}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,34 \%$$

$$U_{k=2} = 2u_B = 2 \cdot 0,34 = 0,68 \%$$

Přehled nejistot:

Zdroj nejistot	Odhad	Pravděpodobnost rozdělení	Standardní nejistota	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě
u_A	zanedbatelná				
u_{B1}	0,58 %	rovnoměrné	0,33 %	1	0,33 %
u_{B2}	0,05 %	normální	0,05 %	1	0,05 %
u_{B3}	0,042 %	rovnoměrné	0,024 %	1	0,024 %
U					0,68 %

11 Záznamy o měření

Pokud má organizace stanoveny konkrétní záznamy o měření, využijí se. Úroveň záznamu je dána důležitostí měřicí operace a jeho rozsah stanoví odpovědný pracovník subjektu (technolog, metrolog atd.)

Tyto záznamy mohou obsahovat například:

- a) identifikace pracoviště provádějícího měření,
- b) pořadové číslo záznamu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) informace o měřidle,
- d) veličiny ovlivňující měření v okamžiku měření a způsob jejich kompenzace,
- e) název výrobní operace,
- f) datum měření, (případně i čas),
- g) označení použité metodiky měření (v našem případě např. MPM 4.1.2/01/17)
- h) měřidla použitá při měření,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření,
- j) výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s danou technologickou tolerancí,
- k) jméno pracovníka, provádějícího měření, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko pracoviště.

12 Péče o metodický postup

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

Změny, popř. revize metodického postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele 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

Metodický postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

13.2 Úprava a schválení

Metodický postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

13.3 Revize

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

Upozornění

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