



Česká metrologická společnost z.s.

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

tel/fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.csvtc.cz/cms

Kalibrační postup

KP 4.1.2/10/19

STŘÍDAVÝ KLEŠŤOVÝ AMPÉRMETR

Neprodejné

Praha

prosinec 2019



Vzorový kalibrační postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2019

Číslo úkolu: VII/2/19

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 kalibrace

Tento kalibrační postup je určen pro kalibraci střídavých klešťových ampérmetrů se základní chybou $\pm 0,5\%$ a větší, s měřicími rozsahy do 2 500 A na frekvenci 50 Hz a pro DC I.

2 Související normy a metrologické předpisy

TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[1]
ČSN IEC 60050-300	Mezinárodní elektrotechnický slovník – Elektrická a elektronická měření a měřicí přístroje	[2]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří	[3]
ČSN EN 61010-1	Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení. Část 1 : Všeobecné požadavky	[4]
EA 4/02 M	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích	[5]
EURAMET cg-15. Version 3.0 (02/2015)	Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters (Pokyny ke kalibraci číslicových multimetrů)	[6]
EA 04/07	Návaznost měřicího a zkušebního zařízení na státní etalony	[7]
ILAC -G8:03/2009	Pokyny k uvádění shody se specifikací Understanding Errors When Calibrating Clamp Meters Using a Coil Transmitter, Ltd Application Note The design, confirmation and use of a compact Current Coil set for clampmeter calibration, Paul C. A. Roberts, Fluke Precision Measurement Ltd, UK	[8] [9]
PROCEDIMIENTO EL- 007	PARA LA CALIBRACIÓN DE PINZAS AMPERIMÉTRICAS. Centro Español de Metrología Tres Cantos, Madrid	[11]
	LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE, SIT/Tec-014/06, SIT Servizio di Taratura in Italia.	[12]
Enac NT-11 Rev. 1 Octubre 2002	CALIBRACIÓN DE PINZAS AMPERIMÉTRICAS POR MEDIO DE BOBINAS	[13]
MPZ číslo 0318-ZV-C1800-05	Klešťové ampérmetry. ČMI	[14]
	Interlaboratory Comparison on clamp-on meters and probes organised by SIT November 2002 – October 2003 preliminary evaluation notes, 27-28 November 2003 P. P. Capra, F. Galliana, F. Francone Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferrari	[15]
	MEASUREMENT SYSTEM FOR THE CALIBRATION OF CURRENT CLAMP-METERS IN AC CURRENT: CHARACTERISTICS AND TRACEABILITY LEVELS http://www.lem.com/images/stories/industry/Markets/Industry/cae130621_1_web.pdf	[16]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

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

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

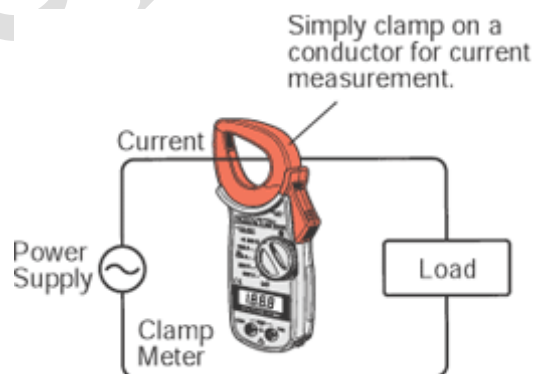
Vedení laboratoře musí informovat pracovníky o jejich povinnostech, odpovědnostech a pravomocích a musí mít postup (postupy) a uchovávat záznamy o pravomocích pracovníků, výcviku pracovníků, dohledu nad pracovníky. Laboratoř musí pověřovat pracovníky k provádění specifických laboratorních činností včetně,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

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

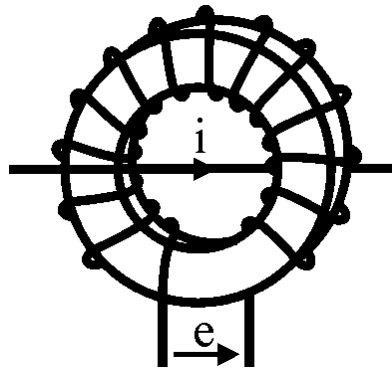
Na pracovníky provádějící kalibraci jen podle tohoto postupu nejsou zvláštní požadavky ve smyslu vyhlášky ČUBP č. 50/78 Sb., postačí přezkoušení podle § 4, ale pro kalibraci elektrických měřidel v širším rozsahu musí být osobami znalými s vyšší kvalifikací nejlépe podle § 6 pro samostatnou činnost ve smyslu vyhlášky ČUBP č. 50/78 Sb., popřípadě předpisů, které ji nahradí.

4 Názvosloví a definice

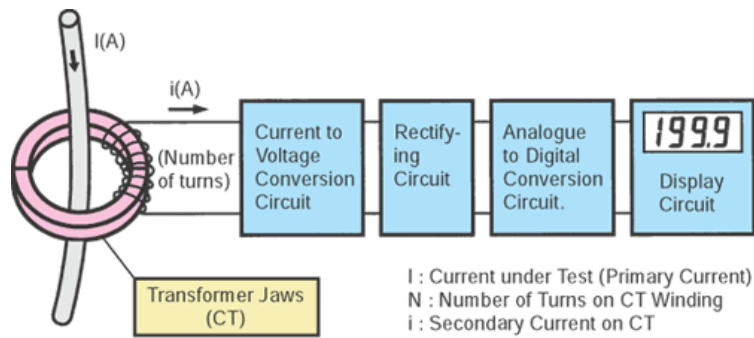
Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2), zejména ve slovníku VIM a v publikacích věnovaných metrologické terminologii.



Obr. č. 1: Základní princip použití klešťových ampérmetrů pro bezdotykové měření proudu

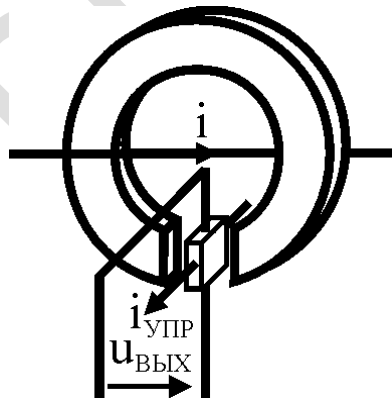


Obr. č. 2: Princip transformátorových kleští. Písmeno i označuje vodič, proud ve kterém je měřen.

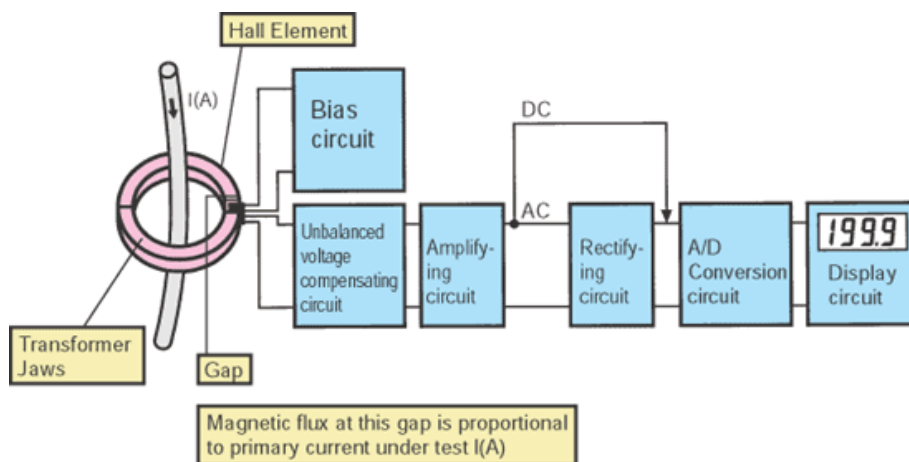


$$i = \frac{I}{N} (A)$$

Obr. č. 3: Princip klešťového ampérmetru typu proudového transformátoru a příslušná elektronika



Obr. č. 4: Princip kleští s a Halovou sondou

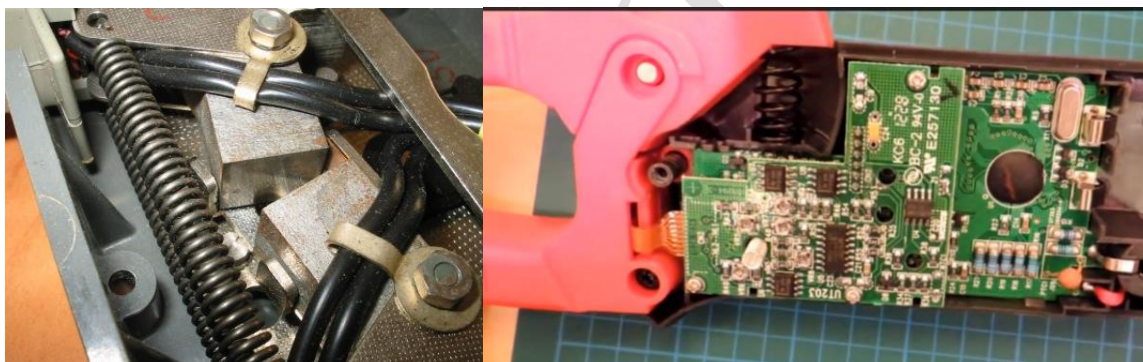


Obr. č. 5: Princip klešťového ampérmetru typu proudového transformátoru a příslušná elektronika

Klešťový ampérmetr a klešťové cívky

klešťové cívky a klešťový ampérmetr se liší pro účely tohoto kalibračního postupu pouze tím, že klešťové cívky používají externí měřič. Proto nebudou v dalším textu obě provedení od sebe odlišována.

Provedení uzávěru kleští



Obr. č. 6: Porovnání zadního uzávěru kleští, ve staré konstrukci Metra důkladné, vpravo nové jednoduché. Uzávěr musí být čistý a poskytovat reprodukovatelné spojení

Kalibrační cívka-konstrukce cívky

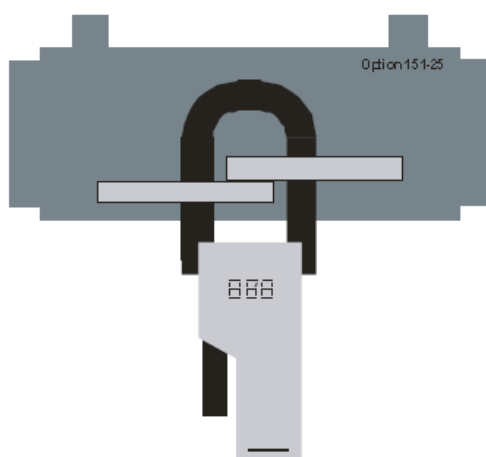
Rozdíl mezi použitím jednoho vodiče a cívky při kalibraci klešťových měřičů je tvar magnetického pole produkovaného cívkou. Proud, který teče zpět kolem vnější části cívky, vytváří pole v opačné směru. Jednoduše řečeno, toto pole je to "únik" uplatňující se zejména v oblasti uzávěru kleští. Je to vliv přítomnosti té protilehlé oblasti cívky, která není přítomna v jednom vodiči, co způsobuje chyby při čtení. Různé konstrukce cívky produkují různé "tvary pole" a to vysvětluje, proč mohou různé vzory cívky dát trochu jiný výsledek, zvláště když je místo uzávěru přesunuto do vnitřní oblasti cívky. Výrobci kleští proto volili různá provedení cívek po experimentování s několika různými provedeními. Mimo jednoduchých cívek uvažovali provedení včetně návrhů snížit vliv pomocí magnetického stínění a snahou zabalit zadní stranu vinutí do magnetického stínění a konstrukcí vyvážené cívky, která umožňuje, aby obě ramena a upínací části kleští přístroje, byly v oblasti střední části, zatímco ve stejné době ramena kleští poskytují stínění opačného pole vytvořené na vnější straně cívky. Pomocí vhodné konstrukce je oblast čelistí mimo hlavní magnetického pole a to vede ke snížení velikosti

chyb vlivem magnetické ztráty otvorem mezi uzávěry kleští. Proto se setkáme s cívkami, produkujícími semikruhové pole, s plochými cívkami, kde je kalibrovaný přístroj kolmo k rovině cívky nebo i s cívkami symetricky umístěnými směrem na oba boky kalibrovaných kleští.

Při prvotní kalibraci cívky je vše, co je požadováno od certifikátu cívky, je ověřit počet závitů a chybu pro základní typy kleští (transformátorové, s Hallovou sondou a přesnější provedení, jako je CT snímač). Nejjednodušším způsobem je porovnání vodiče s cívkou známými hodnotami cívky a vlastnostmi přímého vodiče. Vzhledem k tomu, cívka nestárne s časem, se nevyžaduje, aby se znovu kalibrovala, pokud počet závitů nebyl změněn fyzikálně buď mechanickým poškozením, nebo přehřátím které způsobilo zkratování závitů.

Nejistoty generování proudu, uvedené na kalibračním listě cívky, jen odráží způsob, jakým se podařilo prověřit cívku, a proto by neměly být používány jako příspěvek při výpočtu nejistoty kalibrace s cívkou. Cívky by měly mít vlastní specifikaci, rozdílnou pro kleště s Hallovou sondou a jinou pro kleště s měřicím transformátorem.

Proto není jednoduché použít cívky vlastní konstrukce amatérsky vyrobené bez prověření vlastností. Z výše uvedeného vyplývá, že existuje řada úskalí a je neopatrné pokoušet se využívat jakýchkoliv neznámých cívek pro kalibraci klešťových přístrojů. Použití nevhodných cívek zvláště "domácí" výroby cívky může způsobit velké chyby, které obvykle nejsou odhaleny.



Obr. č 7: Ukázka správné polohy kalibrovaných kleští a cívky (v obrázku jsou cívky naznačeny světleji). Cívka je symetrická z obou stran kleští a spoje kleští jsou při kalibraci dále od zpětných vodičů cívky.



Obr. č. 8: Plochá cívka



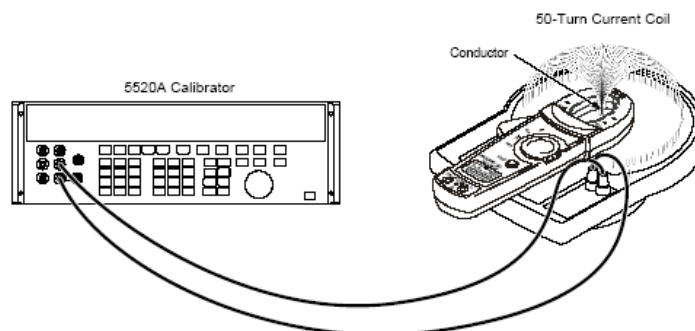
Obr. č. 9: Cívka se symetrickým polem (provedení podle AKL Firenze Tecnologia, Italie)



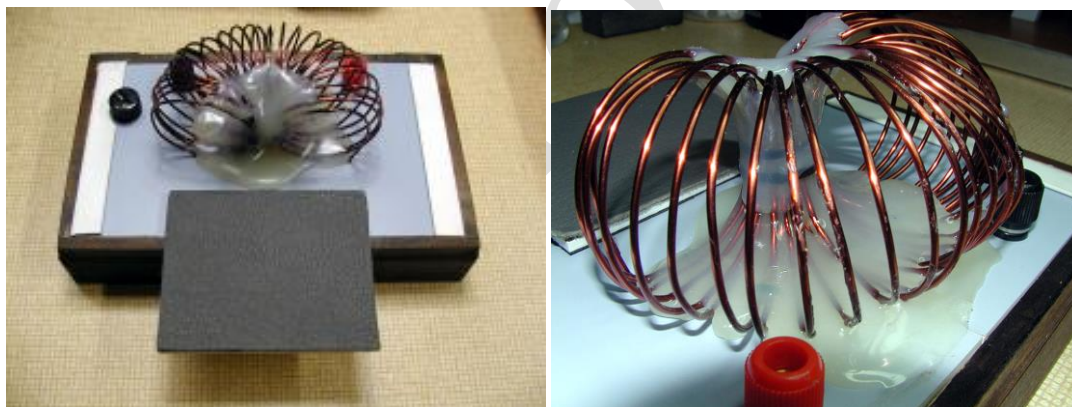
Obr. č. 10: Průmyslově vyráběná cívka Fluke 5500A, která je nejpodobnější toroidně provedené cívce. Cívky ostatních výrobců jsou ploché.

Průmyslově vyráběné cívky jsou obvykle ploché. Jen cívka Fluke 5500A, která má 50 závitů je jediná z průmyslově vyráběných, která není plochého tvaru. To jednak vytvoří pole více symetrické kolem středu cívky, jednak neumožní umístit kalibrované kleště umístit v různé nevhodné poloze vzhledem k cívce.

Cívka Fluke 5500A má naprázdno indukčnost $100\mu\text{H}$ při $Q = 0,6$ na 50 Hz, a $Q = 9$ na 1 kHz. Při zatížení kleštěmi HC 640 vzroste indukčnost až na $120\mu\text{H}$. To je v povolených tolerancích zátěže pro kalibrátor Fluke 55000 (max. $200\mu\text{H}$), proud kalibrátoru se vlivem cívky změní pod 0,02 % a zkreslení proudu kalibrátoru se také nezmění znatelně.



Obr. č. 11: Spojení cívky a kalibrátoru. Proudové cívky se připojují ke svorkám etalonového kalibrátoru krátkými přívody.



Obr. č. 12: Amatérská napodobenina cívky F 5500.



Obr. č. 13: Podložka k fixaci polohy kleští v cívice je velmi praktické a jednoduché opatření



Obr. č. 14: Meatest Option 140-50 je proudová cívka s 50 a 25 závity, je určena ve spojení s kalibrátory M140 / M142 / M143 / M133C ke kontrolám stejnosměrných a střídavých klešťových ampérmetrů s rozsahem do 1500 A. Násobí 50x a 25x, nepřetržitě zatížení do 20 A, zatížení 5 minut do 30 A. Jednoduché, úsporné řešení, nízký úbytek napětí.



Obr. č. 15: Meatest OPTION 151-25 je proudová cívka s 25 závity, určena ve spojení s kalibrátory M151 / M133C ke kontrolám stejnosměrných a střídavých klešťových ampérmetrů s rozsahem do 3000 A. Má aktivní chlazení.



Obr. č. 16: Připojení cívky ke kalibrátoru (Meatest).



Obr. č. 17: Wavetek 9100. Jedná se o 2 cívky, 10 a 50 závitů. Cívky jsou stíněné a podle výrobce tím je potlačen vliv vodiče na opačné straně cívky a cívka se tak chová jako větší cívka bez stínění.



Obr. č. 18: Transmille Clamp Coil Adapter 2901A, tato cívka je dokonce trojitá, má 2 / 10 / 50 závitů. Obdobně jako u Ballantine, má dvě specifikace, lepší pro transformátorové a horší pro kleště s Hallovou sondou



Obr. č. 19: Ballantine Laboratories Model 16201 5/10 Turn Current coil má 2 cívky, s 5 a s 10 závitů. Výrobce uvádí pro cívku dvě specifikace, lepší pro kleště s transformátory a horší (2x) pro kleště s Hallovou sondou (to je ty, co měří při DC i při AC signálu).

Kalibrační cívka a kalibrátor

Dalším omezujícím jevem při střídavém měření je impedance cívky včetně připojeného klešťového přístroje. Ta má vliv na vlastnosti napájecího zdroje. Převažující složkou impedance je indukčnost, jejíž vliv roste se zvyšováním frekvence.

Celková impedance nesmí být velká, aby neomezovala napěťovou schopnost zdroje proudu použitého kalibrátoru, který cívku napájí. Malé cívky mají menší indukčnost a méně zatěžují kalibrátor, ale jejich pole je více zkreslené a tím více závisí výsledek měření na poloze kleští.

Za „téměř ideální“ cívku, která se blíží vlastnostmi k přímému vodiči, se považují cívky o straně nad cca 90 cm x 40 cm. S rozměry cívky ale roste indukčnost. Například cívka s 10 závitů o průměru 40 cm z plochého vodiče, používaného pro výkonové transformátory, má 110 μH v sérii s 68 $\text{m}\Omega$ a při 50 závitěch již 1,4 mH v sérii se 160 $\text{m}\Omega$. Velká cívka může přetížít kalibrátor a v nejhorsím případě způsobit, že se kalibrátor vlivem její indukčnosti rozkmitá.

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

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

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

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

5 Prostředky potřebné pro kalibraci

Všechna použitá měřidla a měřicí prostředky musí být navázány na vhodný etalon s platnou dobou kalibrace.

Při kalibraci lze použít některý z následujících etalonů.

Varianta A zdroj proudu je z napájecí sítě (max 2500 A), 50 Hz

- Měřicí transformátor proudu typ (převod 2500 A/5 A, převod 500 A/5 A), třída přesnosti 0,1 nebo lepší,
- číslicový multimetr 6,5 dig (např. AGILENT 34401A, nebo FLUKE 8845A apod.),
- etalonový odpor 0,1 Ω , (Střídavý bočník 0,1 Ω), např. BURSTER 1282, kalibrovaný pro /Z/ na 50 Hz,
- přímý vodič (tyč),
- zdroj střídavého proudu s jemnou regulací (0 až 2 500) A.

Poznámka: zdroj proudu z napájecí sítě má obvykle nezanedbatelné zkreslení, které se uplatní jen málo u kalibrovaných klešťových měřičů označených True RMS. Pokud měřič označený true RMS nemá, vzniká chyba vlivem zkreslení, která může být řádově jednotky %.

Varianta B zdroj proudu je z kalibrátoru proudu, přímý vodič (max. 100A), DC i 50 Hz

- Kalibrátor nebo kalibrátor a proudový zesilovač (MEATEST M 130),
- přímý vodič (tyč),
- propojovací vodiče.

Varianta C zdroj proudu je z kalibrátoru proudu, proudová cívka (max 2500A), DC i 50 Hz

- Kalibrátor nebo kalibrátor a proudový zesilovač,
- proudové cívky,
- propojovací vodiče.

Ke kalibraci jsou dále potřebné následující prostředky:

- teploměr, s rozlišením min. 0,2 °C, navázaný na etalon,
- vlhkoměr (rozsah 30 % až 90 % relativní vlhkosti), navázaný na etalon,
- propojovací vodiče,
- čisticí prostředky (isopropylalkohol),

- konzervační prostředek (vaselinum album nebo podobně), který musí být dlouhodobě stabilní a nekorozivní.

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

Použité etalony musí mít platné kalibrační listy (včetně dodržení ochranného pásma pro dodržení specifikace vlivem možného stárnutí během rekalisační periody).

6 Obecné podmínky kalibrace

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

- Teplota prostředí (23 ± 2) °C
- Vlhkost vzduchu: (30 až 60) % RH

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

Není přípustné, aby pracovní stůl měl kovovou konstrukci.

Kalibrace pro přímý vodič a pro cívku, použitou pro zvětšení měřeného proudu.

Základní použití kleští je pro přímý, velmi dlouhý a zanedbatelně silný vodič, kde zpětný vodič je dostatečně daleko od kalibrovaného přístroje. Místo přímého vodiče byla přípustná i jednozávitová cívka rozměrů se stranami alespoň 90 cm a 40 cm, kde měřicí kleště byly umístěny při měření uprostřed delšího vodiče. V okolí měřících vodičů ve vzdálenosti nejméně 40 cm nesmí být žádný vodivý předmět. Pro umístění měřeného vodiče uprostřed cívky měřících kleští byly používány plastové nebo korkové centrovací přípravky. Měření má být prováděno v každém bodě nejméně 5 x přičemž při měření proti přímému vodiči byl měřený přístroj měřen v různých polohách kolem vodiče (otáčen). Hystereze je hodnocena kontrolou nuly po měření nejvyššího proudu. Aby byla potlačena hystereze při měření, všechna měření jsou prováděna při zvyšování proudu a má být sledováno i zkuslení osciloskopem nebo měřičem zkuslení.

Pokud je použita cívka, pak každá měřicí cívka musí být typově testována a periodicky verifikována. Pro cívky Fluke 5500 a Wavetek 9100 byl závěr této typové zkoušky provedené v ENAC, že cívky jsou použitelné pro nejistoty vyšší než 2 %.

Při běžném používání kleští se určuje hodnota proudu, protékajícího vodičem umístěným v místě středu mezi čelistmi kalibrovaných kleští. Proto i při kalibraci fáze musí být uvedeny výsledky, které se vztahují na vodiče umístěné ve středu čelistí (nebo pro těžiště úseku primárního vodiče umístěného v těžišti v přístupné části otvoru). Pozornost musí být věnována vzdálenosti, ve které je umístěn zpětný vodič proudu, která by neměla podstatně změnit pole vytvářené vodičem procházejícím středem kleští. Aby bylo možné vyhodnotit a opravit efekt vlivu zpětného vodiče, je zvláště užitečné vytvořit možnost, že se kalibrované kleště budou moci otáčet 360° kolem osy tvořené středovým vodičem proudu. To znamená, že je třeba pro-

vést cívky velké. Velké cívky ale mají velkou indukčnosti a ta může nepříznivě ovlivnit vlastnost k cívice připojeného kalibrátoru.

Měřicí přístroje při kalibraci k měření etalonového proudu mohou být ovlivněny střídavým polem produkovaným průchodem proudu v cívice. Je proto vhodné je umístit, pokud je to možné, dále od smyčky samotné, a to zejména pro měření s frekvencí vyšší než 50 Hz a ověřit, zda jsou na ně vlivy vyvolané průchodem proudu významné (např. změnou polohy a zkoumá vliv na výsledek kalibrace).

Ideální stav lze aproximovat experimentálně, realizující obvody s návratným vodičem postupně stále vzdálenějším od bodu, ve kterém se nachází přístroj, až do doby, kdy otáčení měřidla kolem vodiče a vzdálenost zpětného vodiče nemají v reakci kleští významnější změny než opakovatelnost měření pro umístění v určité pevné poloze. Obvykle to je dosaženo, když jsou zpětné vodiče v minimální vzdálenosti od měřicího vodiče nejméně 3-4 krát větší, než je maximální velikost přístroje samotného. Je třeba toho dbát, protože obvody této velikosti vytvářejí silná magnetická pole i na značné vzdálenosti od vodičů. Stav necitlivosti ke zpětnému vodiči lze snadněji dosáhnout, používají-li se další zpětné vodiče umístěné tak, aby se produkovaly pole, které mezi nimi mají tendenci se v oblasti, ve které je umístěn měřič vzájemně kompenzovat. Nejlepších výsledků dosáhnete pro zpětné vodiče, které jsou na mnoha místech a s válcovou symetrií s ohledem na měřicí vedení

Pro střídavý proud je vhodné, aby se minimalizovaly i vzájemné indukčnosti mezi napět'ovým obvodem, který slouží k měření etalonového proudu a obvodem, ve kterém prochází měřicí proud.

Elektronika klešťového přístroje pracuje v oblasti velmi silného magnetického pole. V nekonečně dlouhém vodiči, kterým teče 10 A, se tvoří ve vzdálenosti 5 mm pole 320A/m. Toto pole klesá nepřímo úměrně vzdálenosti. Proto elektronika klešťových přístrojů pracuje v nepříznivých podmínkách a jejich vlastnosti mohou být silně ovlivněny konstrukcí přístroje. U magnetického obvodu s ideální reakcí přístroje bude záviset pouze na hodnotě proudu, který prochází magnetickým obvodem přístroje. V praxi skutečné reakce přístroje do značné míry závisí na vzájemné poloze mezi magnetickým obvodem a úsekem vodiče, který projde otvorem, a ještě obtížnější je kontrolovat, účinek proudu procházejícího v jiných vodičích, které jsou umístěny v bezprostřední blízkosti přístroje (efekt samozřejmě výrazně snižuje se vzdáleností). Je tedy třeba mít na paměti, že primární okruh, který není schopen mít rozměry dostatečně velké, vytváří magnetické pole, které má jinou strukturu, než to, které se předpokládá v referenčních podmínkách.

Tento jev však není možné popsat jednoduše, s ohledem na způsob provozu zařízení. Tento prvek nejistoty je třeba posuzovat případ od případu na základě experimentálních možností laboratoře.

Je to dáno tím, že primární okruh není schopen mít neomezené rozměry a proto nevytváří pole, jako je uvedeno v referenčních podmínkách. Tím mohou být vyvolány změny se změnou polohy kalibrovaných kleští. Pro primární obvody, které jsou dostatečně velké, aby umožňovaly 360° otáčení kolem osy vodiče, kde měříme kleště, jejichž prostřednictvím měříme proud. Můžete vytvořit několik měření pro jiný úhel (typicky 4x, každý o 90°), k získání podkladů pro závislost chyby měření od střední chyby a získat nejistotu s rozptylem hodnot pro malé pohyby kleští s ohledem na vedení středního vodiče. Pokud používáte vinutí cívky, které neumožňují rotaci 360°, významné údaje o hodnotě této složky nejistoty může být zís-

kána tím, že se mění, pokud je to možné, poloha kleští s ohledem na vinutí. Chceme-li mít smysluplné výsledky, pak tento druh informace musí být integrován s jinými typy informací:

- výsledky získané na stejném typu kleští z laboratoře s primárními okruhy různých tvarů (pokud je to možné),
- informace poskytované výrobcem kalibrační cívky,
- výsledky získané v porovnání s ostatními laboratořemi používajícími různé druhy obvodů primárního napájení kleští.

Okolní pole vlivem zemského magnetizmu

Při měření slabého DC magnetického pole je dobré si uvědomit, že kolem nás je i zemské magnetické pole. Vztah proudu a magnetického pole pro snadné zapamatování je: magnetické pole ve vzdálenosti 1 m od zdroje proudu je dvojnásobek proudu v A v mG. Například proud čtyři ampéry produkuje 8 mG na 1 metr.

Oteplení

Má vliv na nejistotu spojenou s působením tepla vyvolaného průchodem proudu vinutím cívky. Většina cívek nemá opatření k chlazení (výjimkou je Meatest OPTION 151-25) a při měření se ohřívají. Bylo zjištěno, že průchod proudu v závitech cívky se typu Fluke model 5500A může způsobit oteplení kleští při kalibraci i 2 až 3 stupně Celsia ve srovnání s okolím. V případě, že specifikace výrobce kleští specifikuje, že teplotní koeficient není zanedbatelný, je třeba odvodit složku nejistoty vlivem oteplení. Proudová cívka s nuceným chlazením je například typ OPTION 151-25 Meatest.

Pokud teplotní závislost cívky neznáme, tento účinek může být určen opakováním měření a ověření rozdíly mezi zjištěnými chybami v chladu a po použití maximálního proudu po dobu několika minut. Hodnoty získané při kalibraci teplotní závislosti kleští mohou být použity v následujících kalibracích a pro kalibrace jiných kleští stejného modelu.

Podmínky kalibrace – pracovní podmínky, velikost proudu při měření

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

7 Rozsah kalibrace

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

8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

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

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 zákazníka. Při přebírání přístroje ke kalibraci je třeba zjistit, zda typ, výrobní číslo a příslušenství dodaného přístroje odpovídá údajům uvedeným v objednávce nebo dodacím listu. Současně se provede jeho předběžná kontrola, spočívající ve vnější prohlídce a kontrole provozuschopnosti přístroje. Kontroluje se mechanická nepoškozenost, dosednutí kleští a jejich čistota.

8.1 Příprava přístroje ke kalibraci

Před započítím kalibrace se musí vykonat tyto úkony:

- kalibrovaný přístroj se umístí do prostředí s teplotou a vlhkostí vzduchu a ponechá se v něm po dobu nejméně 4 hodiny. Pak se přemístí na kalibrační pracoviště,
- kalibrovaný přístroj se připraví na zkoušení v souladu s jeho technickou dokumentací.

8.2 Vnější prohlídka

Zjišťuje se zda:

- kryt přístroje není poškozen,
- přístroj je vybaven všemi součástkami a příslušenstvím potřebným ke kalibraci,
- všechny technické údaje o přístroji uvedené na displeji a jeho okolí jsou zřetelné a jsou v souladu s dokumentací,
- u analogových přístrojů čitelnost stupnice, stav ručičky.

9.3 Zkouška provozuschopnosti

Zjišťuje se zda:

- připojovací svorky jsou spolehlivě upevněné,
- na displeji jsou všechny číslice a znaky úplné a dobře čitelné,
- přepínače měřicích rozsahů a funkcí jsou funkční a mají správnou aretaci odpovídající zvolenému rozsahu nebo funkci,
- zkontrolovat stav interní baterie (pokud je v přístroji osazena). Nemá-li napětí v mezích stanovených výrobcem, nelze s ní dále měřit (většina přístrojů s interní baterií kontroluje její stav automaticky při zapnutí a v případě, že nemá dostatečnou kapacitu, je zobrazena chybová indikace nebo přímo znemožněn další postup),
- zkontrolovat elektrickou funkci ovládacích prvků a úplnost a čitelnost zobrazení výsledků.

9.4 Vstupní kontrola

- Počáteční vizuální kontrola pro kontrolu fyzické integrity zařízení a kontaktu mezi čelistmi (s možností odstraňování rzi a nečistot),
- demagnetizaci kleští se provede několikrát otevíráním a zavíráním čelistí,
- obnova třmenu (pokud je to možné) a zapínací síly kleští,
- kontrola, zda zátěž kleštěmi nemění časový průběh proudu z kalibrátoru,
- kontrola specifikace výrobce, že měřič je opravdu RMS. Pokud tomu tak není, je třeba vyhodnotit další prvek nejistoty,
- pro příložený snímač s proudovým výstupem se zkontrolujte, zda je připojení stabilní a na výstupním signálu se pohybem kabelu nemění výsledek.

9 Postup kalibrace

9.1 Příprava:

- Etalony nechat ustálit v laboratoři, kalibrátor(y) zapnout do sítě a nechat ustálit dle dokumentace výrobce, minimálně však na 30 minut,
- zapnout napájení kalibrovaného přístroje a nechat ustálit po dobu uvedenou v dokumentaci výrobce. Není-li tato doba uvedena, nechat ustálit minimálně 15 minut.

9.2 Stanovení kalibračních bodů

9.2.1 Pro ampérmetry s rozlišením vyjádřenou max. 4½ číslicemi:

Kalibrace se provádí při kmitočtu 50 Hz, pro kleště s Halloovou sondou i pro DC I

Rozsahy přístroje	Měřicí body
Jeden rozsah (základní)	10 %, 30 %*, 50 %, 70 %*, a 90 %
všechny ostatní rozsahy	10 %, 90 %

*pouze u přístrojů s rozlišením vyjádřenou 4½ číslicemi a 4¾ číslicemi.

Hodnoty kalibračních bodů jsou uváděny v procentech plného rozsahu.

9.2.3 Tento způsob stanovení kalibračních bodů vychází z publikace EURAMET cg-15 (EA-10/15) „Pokyny ke kalibraci číslicových multimetrů“ [11] a EL 007. PROCEDIMIENTO EL-007 PARA LA CALIBRACIÓN DE PINZAS AMPERIMÉTRICAS. Centro Español de Metrología Tres Cantos, Madrid [6]

Podle požadavku zákazníka, (zadavatele kalibrace) je možno počet kalibračních bodů rozšířit, neměl by však být snižován.

Nejistota spojená s hysterezním účinkem v měřeném obvodu při měření DC I

Je to fakultativní kontrola, která není povinná, zde je uvedena hlavně pro informaci a pro úplnost, podrobněji viz [12].

U kleští s Halloovou sondou je při měření stejnosměrného proudu často možné detekovat chybu v závislosti na hodnotě měřeného proudu, který má hysterezní účinek. Kalibrační proces musí brát tento efekt v úvahu a poskytnout uživateli data, která umožňují správné vyhodnocení charakteristik přístroje. V každém případě musí sled provedených bodů v kalibračním listu umožnit posouzení rozsahu hysterezního účinku. Získané výsledky mohou být použity dvěma různými způsoby:

- 1) mohou být použity při hodnocení nejistoty spojené s bodem měření, který má být uveden v kalibračním listu.
- 2) mohou být jen uvedeny v certifikátu, při čemž uživatel zůstává odpovědný za odhad vlivu této nejistoty na použití.

Obecně lze navrhnout, aby se přístup 1) použil v případech, kdy je účinek hystereze omezený a přístup 2) tam, když je účinek závažný. Operace, které mají být provedeny během kalibrace, se mohou lišit v závislosti na zvoleném přístupu.

Je-li to považováno za dostatečné pro identifikaci metrologických charakteristik měřených kleští, lze použít jednodušší posloupnosti operací, než je uvedené. K tomu může dojít, pokud je znám typ kalibrovaného měřidla (na základě výsledků získaných na stejném typu nebo na jiných podobných modelech) a pokud se kalibrace provádějí se sníženým počtem bodů (například pouze pro kladné hodnoty s kontrolou jen pro plnou hodnotu pro zápornou polaritu).

V každém případě, pro získání dostatečně spolehlivých výsledků je nutné měřicí cyklus opakovat nejméně dvakrát.

Operace, které je třeba provést během kalibrace, se mohou lišit v závislosti na zvoleném přístupu jak hodnotit hysterezi.

Nejprve ale posoudíme, zda je nutné hysterezi uvažovat.

(Poznámka: v příkladech je čtení na displeji kalibrovaných kleští označeno jako L)

PŘÍSTUP 1)

Příklad, jak hodnotit přínos nejistoty spojené s hysterezní smyčkou je obvykle měřený bod nula.

Pozice vodiče je konstantní uvnitř kleští, měření je provedeno s pomocí následujícího pořadí operací:

- 1) reset upínacího mechanismu kleští a počáteční korekce nuly, podle postupu, jak je uvedeno výrobcem,
- 2) cyklus s pozitivní polaritou pro stejnosměrné proudy (platí pouze jednu hodnotu v blízkosti plného rozsahu stupnice pro pozitivní polaritu),
- 3) návrat do nuly a zjištění nulového čtení L_{0pos} ,
- 4) cyklus s negativní polaritou pro stejnosměrné proudy (platí pouze jednu hodnotu v blízkosti plného rozsahu stupnice pro negativní polaritu),
- 5) návrat do nuly a zjištění nulového čtení L_{0neg} ,
- 6) opakujte se 3x nebo vícekrát v uvedeném pořadí v krocích 1) až 5).
- 7) vypočítejte průměr ze čtení L_{0pos} a průměr ze čtení L_{0neg} ,
- 8) příspěvek standardní nejistoty úrovně odchylky vlivem hystereze je za předpokladu, že rozdělení pravděpodobnosti je obdélníkového typu, vyjádřen ve formě absolutní a rovná se: $1,732 \cdot (L_{0pos} - L_{0neg})$ a uvede se i v kalibračním listu a užije se i při výpočtu nejistoty ve všech kalibrovaných bodech.

PŘÍSTUP 2)

Příklad průběhu všech operací. Po nastavení vodiče ve střední poloze kleští a budete provádět následující operace:

- 1) reset upínacího mechanismu kleští,
- 2) použití měření proudů v pozitivním směru s postupně se zvyšující hodnotou,
- 3) snížení měřeného proudu na nulu a čtení indikace L_{0pos} ,
- 4) obnovení sevření čelistí,
- 5) aplikace měření proudů v negativním směru a postupně se zvyšující hodnotou,
- 6) snížení měření proudu na nulu a pak monotónní a čtení indikace L_{0neg} ,
- 7) opakujte 3x nebo vícekrát v uvedeném pořadí v krocích 1) až 6),
- 8) v kalibračním listu budou uvedeny průměrné L_{0pos} a L_{0neg} zaznamenané během měření. Kalibrační list musí rovněž uvádět, že nejistota uvedená pro různé kalibrované body nezohledňuje žádné změny způsobené účinkem hystereze.

9.2.4. Vlastní kalibrace:

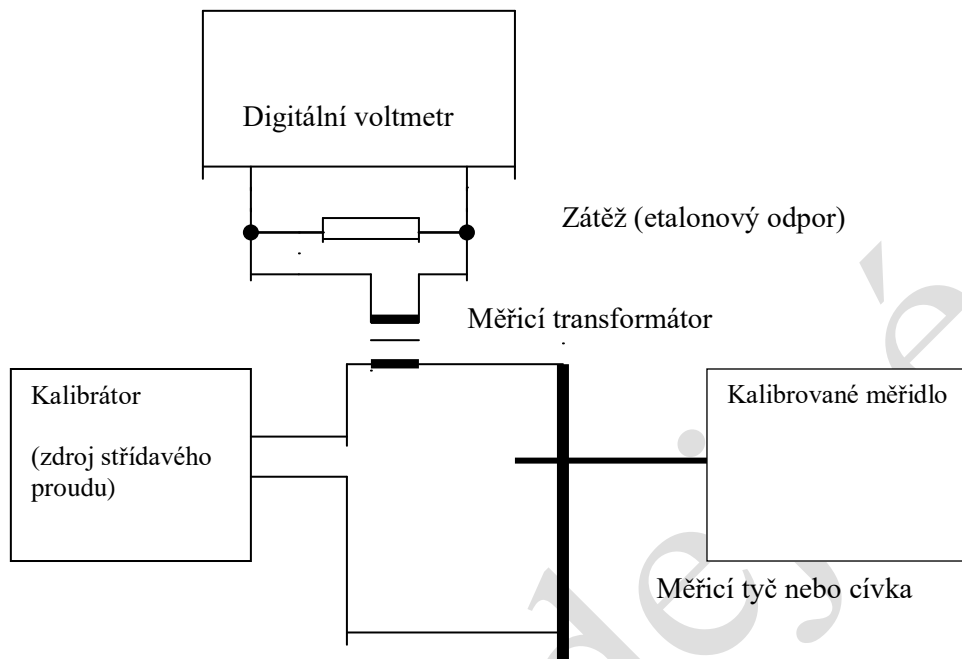
Kalibrace rozsahů ACI klešťového ampérmetru

Volba měřicích bodů:

Kalibrace se na rozsazích do 1500 A provede pro ampérmetry s 3,5 dig. na 10 %/50 Hz, 50 %/50 Hz, 90 %/50 Hz, z FS.

Vlastní kalibrace

1. Před každým měřením klešťovým ampérmetrem se provede demagnetování: kleště jsou uzavřeny, mimo měřený obvod, provést vypnutí a zapnutí ampérmetru – přístroj automaticky kompenzuje nenulový signál vlivem remanentní magnetické indukce.
2. K výstupu kalibrátoru připojit proudovou cívku. Kleštěmi kalibrovaného přístroje obejmout proudovou cívku tak, aby cívka byla uprostřed kleští. Na kalibrátoru nastavit proud $I_k = 1/50$ požadovaného proudu. Klešťový přístroj ukazuje hodnotu $I_{měř}$, konvenční hodnota $I_{KP} = 50 \cdot I_k$.
3. Vliv závěru kleští: Zjistit hodnotu $I_{měř}$ pro různá uzavření kleští – od mírného až po prudší (rozumně – ze vzdálenosti několika mm). Rozdíl mezi $I_{měřMAX}$ a $I_{měřMIN}$ dává chybu vlivem závěru kleští.
4. Zapnout výstup kalibrátoru, klešťový přístroj ukazuje měřenou hodnotu proudu $I_{měř}$. Hodnota konvenčně pravá $I_{KP} = 50 \cdot I_k$. Měření opakovat pro polohy 1 až 4 dle obrázku:
5. Měření podle bodů 1 - 4 provést pro další hodnoty proudu.

Zapojení:**Obr. č. 20:** Zapojení při kalibraci**Postup měření:**

Postup měření volíme s ohledem na vybavení kalibrační laboratoře. Pro kalibraci malých proudů (do 20 A) můžeme použít přímo kalibrátor střídavého proudu nebo proudový zesilovač. Pokud kalibrační laboratoř vlastní zdroj střídavého proudu (0 až 2500) A zapojíme do série měřicí transformátor proudu (převod volíme podle rozsahu) a měřicí tyč odpovídajícího průřezu. Zátěž měřicího transformátoru proudu tvoří etalonový odpor nebo střídavý bočník $0,1 \Omega$. Proud měříme voltampérovou metodou tak, že etalonovým voltmetrem odečítáme úbytek napětí na etalonovém odporu nebo bočníku $0,1 \Omega$ (kalibrovaný pro DCR a $/Z/$ na 50 Hz). Připojíme měřidlo tak, aby kleště obepínaly měřicí tyč, zkontrolujeme, zda kleště dobře doseďají a není mezi nimi vzduchová mezera a odečteme měřenou hodnotu.

Při kalibraci obsluhujeme kalibrované měřidlo dle návodu výrobce. Kalibraci provádíme přímou metodou (přímé měření nebo přímé porovnání) tak, že porovnáваме hodnoty etalonu nebo hodnoty nastavené na kalibrátoru s hodnotami indikovanými kalibrovaným měřidlem.

Je vhodné pracoviště upravit tak, aby měřicí tyč procházela nevodivou podložkou, na kterou položíme kalibrovaný přístroj, aby bylo zajištěno kolmé položení k měřicí tyči.

Při kalibraci analogových klešťových přístrojů postupujeme tak, že proud procházející měřicí tyčí nebo cívkou nastavujeme tak, aby se ukazovatel kalibrovaného přístroje kryl se značkou dílku na stupnici. Minimalizujeme tak chybu čtení.

Pokud nemůžeme použít zdroj do 2500 A a musíme použít náhradní metodu s cívkou, kdy výsledný proud protékající mezi kleštinami počítáme jako I_e krát n , kde n je počet závitů cív-

ky, musíme počítat s vyšší nejistotou měření a hlavně musíme zjistit vliv tvaru cívky a počtu závitů na nejistotu kalibrace. Je vhodné (pokud používáme cívky vlastní výroby) provést porovnávací měření (porovnat výsledky kalibrace při použití jednoho přímého vodiče a dané cívky) pro nejčastěji kalibrované klešťové ampérmetry.

Doporučení:

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

10 Vyhodnocení kalibrace

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

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

Pokud je známa výrobcem udávaná specifikace výrobce, je možné provést vyhodnocení kalibrace porovnáním naměřené odchylky se specifikací uvedenou výrobcem. Při tom musíme zúžit toleranční pole o hodnotu nejistoty měření (kalibrace), viz literatura ILAC G-8. Doporučuje se zvětšit ochranné pásmo podle výsledků předchozích kalibrací a podle požadavků zákazníka. Obvykle postačí ochranné pásmo 20 % ze specifikace.

Pokud je známa výrobcem udávaná specifikace kalibrovaného přístroje je možné provést vyhodnocení kalibrace porovnáním naměřené odchylky s přístrojovou nejistotou (pozn. přístrojová nejistota – dříve též základní chyba, třída přesnosti) uvedenou výrobcem kalibrovaného přístroje. Při tom musíme zúžit toleranční pole o hodnotu nejistoty měření (kalibrace).

10.1 Postup vyhodnocení

Nastavené hodnoty proudu, jím odpovídající naměřené hodnoty kalibrovaného přístroje a nejistoty zjištěné v jednotlivých kalibračních bodech kalibrovaných měřicích rozsahů jsou uvedeny v kalibračním listu. Zjištěné odchylky se porovnají s dovolenými přístrojovými nejistotami zmenšenými o nejistotu měření.

10.2 Postup v případě neshody

V případě, že kalibrovaný přístroj nevyhověl na některém rozsahu při zkoušce základní přístrojové nejistoty požadavkům na něj kladeným, nemůže být označen kalibračním štítkem nebo se použije štítek s odkazem na příslušné omezení použitelnosti přístroje.

10.3 Kalibrační list, označení měřidla.

Příprava certifikátů.

Kromě běžných požadavků, musí být kalibrační certifikáty obsahovat některé prvky specifické:

- nastavení provedená na třmenu kleští,
- indikace, že kalibrace se vztahuje k ideálnímu stavu spočívající v aplikaci měřící proud - rovný vodič nekonečné délky, umístěný přesně v centru a kolmo k rovině vytvořené čelisti,
- seznam předběžného nastavení (demagnetizace, nastavení na nulu, atd.),
- nastavení provedená na třmenu (filtry, měření rychlosti, atd.),
- v případě klešťových snímačů, vstupní impedance přístroje používané k měření výstupního signálu,
- v případě, že je kalibrace provedena při střídavém proudu, uvést poznámku: v režimu efekt hystereze,
- zejména je třeba uvést, zda vykázaná hodnota nejistoty bere v úvahu, zda je možné informaci, že změny mohou být zavádějící účinkem hystereze.
- kromě toho uvést údaje umožňující uživateli odhadnout vliv hystereze a vyhodnotit správně nejistotu spojenou s používáním kleští.

10.4 Kalibrační listy

Kalibrační list musí ukázat, jak byla provedena kalibrace, například:

- měření bylo provedeno, a to jak pro kladné i záporné polarity, za použití DC proudu s postupným zvyšováním hodnoty po resetování údaje a vynulování,
- hodnoty v tabulce jsou průměrné výsledky získané ve čtyř po sobě opakovaných měření,
- mezi údaji o velikosti vlivu a to uvedením prostředí pro AC, patří frekvence měření a údaje o zkreslení tvaru vlny proudu (THD),
- u kleští, které mají značný teplotní koeficient, by také měly být s použitím kontaktního teploměru udány i teploty čelistí,
- v tabulce pro sběr výsledků kalibrace je vhodné, aby se ukázalo, ve vhodném sloupci, kalibrační chyba měření přístroje.

11 Náležitosti kalibračního listu

11.1 Obsah kalibračního listu

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

Výsledky musí být v kalibračním listu uváděny přesně, jasně, jednoznačně a objektivně.

Doporučuje se zpracovat vzor kalibračního listu náležitosti kalibračního listu, jak jsou uvedeny v odstavci 7.8.2 Společné požadavky na zprávy o kalibracích a 7.8.4 Specifické požadavky na kalibrační listy podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018:

- a. titul (např. „Kalibrační list“),
- b. název a adresu laboratoře,
- c. místo provádění laboratorních činností, včetně těch prováděných v zařízeních zákazníka nebo v místech mimo její trvalá zařízení nebo v přičleněných dočasných nebo mobilních zařízeních,

- d. jednoznačná identifikace, že všechny její části jsou součástí celkového kalibračního listu a jasnou identifikaci konce kalibračního listu,
- e. jméno a kontaktní údaje zákazníka,
- f. identifikaci použité metody, (označení kalibračního postupu) v tomto případě KP 4.1.2/10/19,
- g. popis, jednoznačnou identifikaci a je-li to nezbytné, stav položky,
- h. datum přijetí kalibrační položky (položek), pokud je to nezbytné pro platnost a aplikaci výsledků,
- i. datum (data) provedení laboratorní činnosti,
- j. datum vydání kalibračního listu,
- k. prohlášení o tom, že výsledky se vztahují pouze ke kalibrovaným položkám
- l. výsledky a v případě potřeby jednotky měření,
- m. doplnění, odchylky nebo vyloučení z metody,
- n. identifikaci osoby (osob) schvalující zprávu,
- o. jednoznačné označení výsledků od externích dodavatelů - v tomto případě se nepředpokládají,
- p. nejistoty výsledku měření se uvedenou ve stejné jednotce jako měřená veličina nebo ve vyjádření relativním k měřené veličině (např. v procentech),
- q. podle Pokynu ISO 99 je každý výsledek měření obecně vyjádřen jako jediná hodnota měřené veličiny včetně jednotky měření a nejistoty měření,
- r. podmínky měření (včetně například i podmínek prostředí), při nichž byla provedena kalibrace, které mají vliv na výsledky měření,
- s. prohlášení o tom, jak jsou měření metrologicky návazná (viz příloha A normy),
- t. výsledky před a po každé úpravě nebo opravě, pokud jsou k dispozici,
- u. kde je to relevantní, prohlášení o shodě s požadavky nebo specifikacemi na konci zápisu se uvede:

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

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

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

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).

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

Pak se doporučují formulace (podle potřeby):

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

Akreditovaná kalibrační laboratoř navíc uvede název/logo akreditačního orgánu, číslo osvědčení o akreditaci, údaje o oprávnění, na jehož základě je kalibrační list vydán, prohlášení, že kalibrační list nesmí být bez písemného schválení kalibrační laboratoře rozmnožován jinak než celý.

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

Další doporučení:

- tištěné výstupy protokolů o zkouškách a kalibračních listů mají též obsahovat číslo stránky a celkový počet stránek,
- 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,
- pokud je vypracováno vyjádření o souladu 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 souladu, 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.

Elektronické kalibrační listy

ČSN EN SO/IEC 17025: 2018 uznává v odstavci 5.1 I zvýšené využívání elektronických zpráv. Toto může být v různých formách podle dohody se zákazníkem a může zahrnovat:

- (a) vykazování v dokumentu čitelném na počítači, jako je soubor PDF, zaslaný e-mailem nebo vložen do webového systému zákazníka,
- b) vkládání výsledků do počítačového systému nebo webových stránek zákazníka ve formátu dat předepsaném zákazníkem nebo dohodnutý se zákazníkem,
- (c) poskytnutí přístupu zákazníků k jejich výsledkům nebo certifikátům na vlastní webové stránce laboratoře nebo jinému počítačovému uspořádání pro zákazníky.

Neexistuje žádný výslovný požadavek na elektronický podpis, ale je nutné identifikovat osobu, která schválí vydání zprávy nebo certifikátu [ČSN EN SO/IEC 17025: 2018, bod 7.8.2.1 (o)], pokud neexistují platné důvody pro opomenutí. Toto povolení k vydávání vydává osoba pověřená laboratoří a může zahrnovat elektronické nebo počítačové mechanismy, jako je použití algoritmu nebo filtrů / kontrol používaných laboratoří k ověření práce.

Podle bodu 5.3 normy je důležité, aby byly zahrnuty všechny informace požadované klientem nebo metodou kalibrace. K tomu se odkazuje na bod 7.8.1.2 normy ČSN EN SO/IEC 17025: 2018 a v 7.8.1.3 se odkazuje na podávání zpráv zjednodušeným způsobem, pokud jsou zachovány a dostupné všechny ostatní informace. Seznam vlastností reportů, které se tradičně používají na papírových výkazech a certifikátech, je podrobně popsán ve standardu (7.8.2.1 a 7.8.4.1) a je třeba poznamenat, že jsou zahrnuty, pokud laboratoř nemá oprávněné důvody k tomu, aby tak neučinila.

11.2 Umístění kalibrační značky

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

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

11.3 Protokolování

Originál kalibračního listu se předává objednateli kalibrace. Jeho kopii si ponechává kalibrační laboratoř a archivuje ji nejméně po dobu 5 let nebo po dobu stanovenou zadavatelem zároveň se záznamem o měření. Doporučuje se archivovat kalibrační záznamy a kalibrační listy chronologicky. Výsledky kalibrace se mohou v souladu s případnými podnikovými metrologickými dokumenty místo do kalibračního listu zanášet do kalibrační karty měřidla nebo ukládat do paměti počítače.

11.4 Neshodná 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:

- jsou určeny odpovědnosti a pravomoci při managementu neshodné práce,

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

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

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

12 Péče o kalibrační postup

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

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

13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

13.1 Rozdělovník

Kalibrační postup		převzal		
výtisk číslo	obdrží útvar	jméno	podpis	datum

13.2 Úprava, schválení

Kalibrační postup	jméno	podpis	datum
upravil			
úpravu schválil			

13.3 Revize

strana	popis změny	zpracoval	schválil	datum

14 Stanovení nejistoty měření (příklad výpočtu)

Doporučené příklady výpočtu nejistot najdeme podrobně v:

EL 007. PROCEDIMIENTO EL- 007 PARA LA CALIBRACIÓN DE PINZAS AMPERIMÉTRICAS. Centro Español de Metrología Tres Cantos, Madrid [6]

Vybrané zdroje nejistot.

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

Hlavním zdrojem nejistoty měření je nejistota vlivem uzavěru kleští, zkreslení signálu a stanovení vlivu teploty.

Pro běžné levnější typy kleští je nutné uvažovat dále zvětšení nejistoty vlivem zkreslení měřeného proudu (THD nebo THF)

V případě, že klešťový přístroj neměří skutečnou efektivní hodnotu, je nutné zavést prvek nejistoty měření, jehož hodnota je stanovena na základě principu činnosti čelisti a na vlivu zkreslení měřeného proudu. V kleštích, které nejsou schopny přímo měřit efektivní hodnotu přivedeného signálu, je obvykle nastaveno, že indikovaná hodnota je od přístrojem skutečně měřené střední hodnoty usměrněného signálu násobená příslušným koeficientem násobení ($\approx 1,11$). Měření prováděné tímto způsobem je přesnější, jestliže měřený signál je sinusový signál, ale může být ovlivněno významnou chybou, pokud je měřený proud zkreslený. Chyba měření vlivem zkreslení je podmíněna nejen hodnotou v signálu obsažených harmonických složek, ale i vlivem jejich fáze ve vztahu k základní harmonické. Následující tabulka ukazuje, jak se na měření projevují hodnoty harmonických ve vztahu k základní harmonické. Chyba je uvedena pro přítomnost druhé nebo třetí harmonické.

Harmonická složka měřeného proudu	Vliv harmonické na výsledek	
	2. harmonická	3. harmonická
5 %	(0 až -0,1) %	(1,5 až -1,8) %
10 %	(0 až -0,5) %	(2,8 až -3,8) %
15 %	(-0,1 až -2,0) %	(4,7 až -8,6) %
20 %	(-0,3 až -4,4) %	(5,6 až -14,4) %

Tab. č. 1: Vliv harmonické složky na výsledek měření pro kleště reagující na střední hodnotu signálu

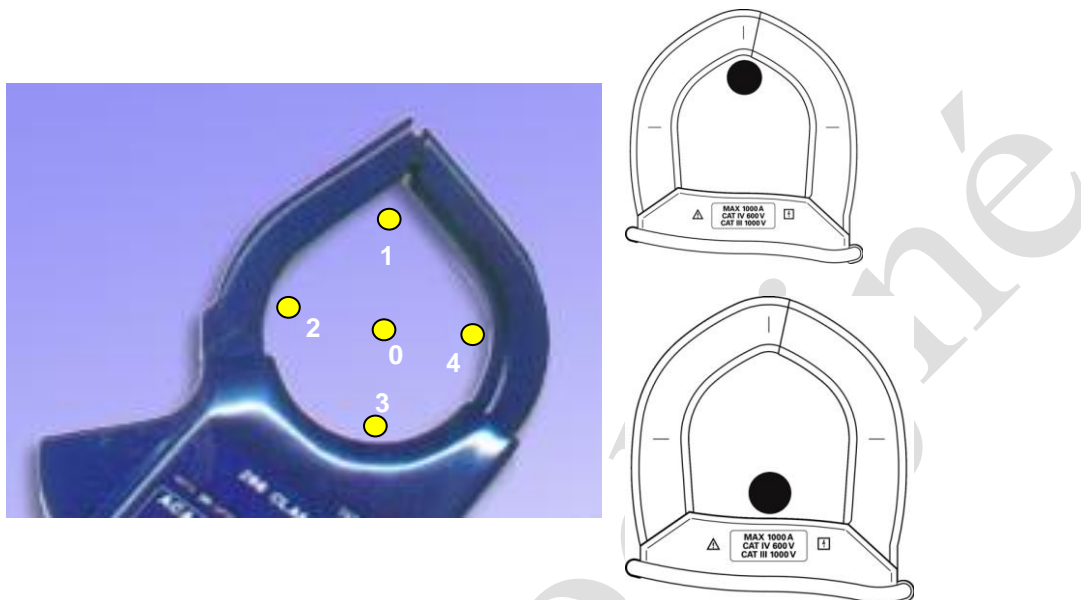
Pokud je signál pro měření odvozen z napájecí sítě, bývá jeho zkreslení kolem 3 % i výše.

Přesnost je závislá na správném vyrovnaní kleští v cívce. Některé klešťové metry mají značky k zarovnání, které by měly být v souladu se středem cívky. Některé typy klešťových měřičů může mít další chyby, nebo může být mimo rozsah, který může být přímo napájením z kalibrátoru. Nejistota vypočítá jako odmocnina z přesnosti cívky + nejistota vlivem přesnosti kalibrátoru s použitím empirických dat získaných v obou typových příkladech trafo kleští a Hallovy sondy z celé řady výrobců.

Stanovení nejistot měření je zpracováno v souladu s dokumentem EA 4/02 M: 2013. Jedná se o přímé měření proudu. Nejistota měření představuje odhad té části vyjadřovaných výsledků měření, která charakterizuje rozmezí hodnot, v němž leží skutečná hodnota měřené veličiny s danou pravděpodobností. K vyjádření nejistoty měření se přistupuje poté, co byly provedeny korekce všech známých systematických chyb.

Chyba vlivem polohy

Je doporučeno podle možností udat i chybu vlivem polohy, podle příkladů na obrázcích:



Obr. č. 22: Kontrola vlivu polohy bývá někdy i součástí kalibračního postupu doporučeného výrobcem, Zapnout výstup kalibrátoru, klešťový přístroj ukazuje měřenou hodnotu proudu $I_{měř}$. Hodnota konvenční $I_{KP} = 50$. I_k . Měření opakovat pro polohy 1 až 4 dle obrázku vlevo. Na obr. vpravo je ukázka doporučení Keysight (Agilent).

Přesnost kalibrační cívky

Chyba v cívce, použité pro kalibraci kleští může být v nesprávném počtu závitů, které projdou přes "střední část" kalibrační cívky, přes kterou se uzavřou čelisti svorky kleští. Počet závitů cívky musí být celé číslo, např. vodič musí buď projít středovou částí 49 krát nebo 50 krát, ale nemůže to být 49,2 závitů.

Cívka tedy násobí proud přesně podle toho, kolikrát drát prochází střední částí. Aktuální násobení funguje pro jakoukoliv amplitudu proudu, takže cívka je dokonale lineární a je stejná pro AC nebo DC (zajímáme se zde oblastí frekvence od DC po cca 500Hz).

Přesnost převodu cívky není ovlivněna teplotou, odporem, typem použitého vodiče, tvarem, úrovní proudu, AC nebo DC. Přesnost cívky nemá drift, nemůže se měnit s časem. Cívka sama o sobě nemá žádné chyby, a proto nemá žádnou nejistotu. Existuje však chyba, kterou zvýší se nejistota, když je pomocí cívky kalibrován klešťový měřič.

Příspěvků pro nejistotu pro použití cívky na kalibrace je několik. Nejistoty, které mají být uvažovány, pokud je cívka používána pro kalibraci kleští, jsou uvedeny níže, ale všimněte si, že cívka sama o sobě není v seznamu, je to poslední položka, kde je zaveden účinek cívky. Jsou to:

- importovaná nejistota kalibrace pro použitý zdroj proudu,
- přesnost zdroje proudu,
- výstupní změny zdroje proudu vlivem impedanci zdroje proudu,
- rozlišení kalibrovaného klešťového měřiče,
- opakovatelnost v důsledku polohy centrování upínacích čelistí kleští uvnitř cívky,
- nejistota v důsledku účinku cívky.

Nejistoty, je-li cívka používaná pro kalibraci klešťových měřičů, jsou způsobeny tím, jak je zejména upínací část měřiče ovlivněna tvarem magnetického pole, zejména mimo jeho čelisti. I když to by nemělo mít vliv na čtení, klešťové multimetry jsou nedokonalé, což má za následek rozdíl v čtení mezi kalibrací pomocí jednoho vodiče a s pomocí cívky. Tato chyba bude záviset na konstrukci jak cívky, tak i měřených kleští, včetně toho, jak dobře se zavírají čelisti měřených kleští atd. Tato chyba může být vyhodnocena pouze a jen experimentálně. Je to chyba, která se někdy označuje jako přesnost cívky a často je udána výrobcí cívky. Je normální, že akreditační orgán vyžaduje několik měření, která mají být provedena v laboratoři, hodnotící rozdíly zjištěné mezi měřením provedeným na jediném vodiči a výsledky získanými pomocí kalibrační cívky používané v laboratoři, pro několik typů měřičů, včetně Hallova jevu a přesnějších měřičů, například typu CT. Z těchto údajů je možné vytvořit mezní hodnotu nejistoty, která může být použita jako příspěvek zahrnující různé typy a modely kalibrovaných kleští. Je nutné měřit indukčnost cívky včetně zapojené klešťového přístroje a současně kontrolovat nelineární zkreslení použitého kalibrátor.

CMC

CMC je měřicí kalibrační schopnost, která je zákazníkům akreditovaných laboratoří k dispozici za běžných podmínek v souladu s popisem rozsahu akreditace dané laboratoře udělené signatářem dohody ILAC. Podle definice CMC se měření nebo kalibrace mají provádět v souladu s dokumentovaným postupem a mají mít stanovenou míru nejistoty dle systému managementu příslušné akreditované laboratoře, být dostupné pro všechny zákazníky. Příspěvky k nejistotě uvedené na kalibračním listu zahrnují vlastnosti zkoušeného zařízení zjištěné během kalibrace v akreditované laboratoři. Stanovení nejistoty CMC tuto situaci předjímá zapracováním dohodnutých hodnot pro nejlepší stávající zařízení. Proto by kalibrační laboratoře měly mít CMC stanovenou v závislosti na principu kleští, to znamená samostatně pro transformátorové a samostatně pro kleště s Hallovo sondou atd. To se ale dosud obvykle nedělo.

Kalibrace proudových kleští s pomocí zdroje a proudových cívek podstatně sníží požadavky na zdroj proudu pro kalibraci, ale zavede řadu zdrojů nejistot snižujících přesnost kalibrace.

- Dominantní je nejistota vlivem polohy, která dosahuje až 1 %,
- rozdíl mezi kalibrací přímým vodičem a proudovou cívkou je také až 1 %,
- akceptovatelná nejistota je asi kolem 0,6 %,
- uváděné kalibrační schopnosti laboratoře CMC pod 2 % jsou obvykle nereálně malé,
- akceptovatelná nejnižší nejistota je asi kolem 0,6 %,
- s nejistotami pod 0,1 % již nelze měřidlo akreditovat,
- reálné nejistoty jsou 2 % a vyšší.

Příklad výpočtu nejistoty:

- Kalibrujeme digitální klešťový ampérmetr typ PK 435.1 na rozsahu 2000 A, kalibrační bod 1800 A,

- ke kalibraci použijeme zdroj střídavého proudu do 2500 A, měřicí transformátor proudu, například CLB 10, (viz CLB 10, <http://www.mtbrno.cz/index.php?l=cs&k=produkty&r=typ&typ=CLB%2010>), etalonový odpor 0,1 Ω kalibrovaný na /Z/ pro 50 Hz a 6,5 dig digitální multimetr (8846A).
- teplota okolí je udržována konstantní v rozmezí 23 °C ±2 °C,
- všechny veličiny jsou nekorelované.

14.1 Stanovení nejistoty typu A

Níže uvedený postup pro stanovení nejistoty typu A lze použít tehdy, pokud bylo měření několikrát opakováno za stejných podmínek. Pokud bylo měření provedeno s dostatečným rozlišením, bude pozorovatelné rozptýlení získaných hodnot.

měření n	I_{xi} [A]	$(I_{xi} - \bar{I}_x)$ [A]	$(I_{xi} - \bar{I}_x)^2$ [A ²]
1	1814	-1	1
2	1817	2	4
3	1814	-1	1
4	1816	1	1
5	1814	-1	1
Σ	9075	0	8

Tab. č. 2: Tabulka naměřených a vypočtených hodnot.

Odhad I_x hodnoty měřené veličiny je dán aritmetickým průměrem jednotlivých naměřených hodnot I_{xi} :

$$\bar{I}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{xi} = 1815,0 \text{ A}$$

Výběrová směrodatná odchylka:

$$s(I_x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_{xi} - \bar{I}_x)^2} = 1,4142 \text{ A}$$

Výběrová směrodatná odchylka průměru je pak:

$$s(\bar{I}) = \frac{s(I_x)}{\sqrt{n}} = 0,632 45 \text{ A}$$

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

$$u(I_x) = s(\bar{I}_x) = 0,632 45 \text{ A}$$

14.2 Stanovení nejistoty typu B:

Etalonový proud měříme pomocí měřicího transformátoru proudu, který je kalibrován se zátěží 0,1 Ω, úbytek napětí na tomto odporu je snímán multimetrem.

14.2.1 Vliv teploty

Relativní teplotní koeficient multimetru, etalonového odporu ani měřicího transformátoru nemusíme uvažovat, neboť jejich kalibrace byla provedena v doporučeném pracovním rozsahu teplot, tudíž tento prvek nejistoty je tak malý ve srovnání s ostatními, že na výslednou hodnotu nejistoty nemá prakticky žádný vliv (proto jej můžeme zanedbat).

Doporučení:

maximální hodnoty neměřit příliš dlouho, aby se omezil vliv ohřevu cívku a bočník chladit nuceným větráním ventilátorem (PC typu).

14.2.2 Vliv mezní chyby etalonů

Vliv mezní chyby převodu měřicího transformátoru δp_k .

Měřicí transformátor proudu má uvedenu třídu přesnosti 0,1, což pro převod $p = 500$ činí:

$$\pm 0,1 \cdot 10^{-2} \cdot 500 = \pm 0,5$$

Standardní nejistota u_k má rovnoměrné pravděpodobnostní rozdělení a pokud rozdíl mezi limitními hodnotami představuje $2 \cdot a$, v našem případě $2 \cdot a = 1$, potom její velikost určíme pomocí vztahu:

$$u_{p_k} = \frac{a}{\sqrt{3}} = 0,288$$

Vliv nejistoty navázání převodu měřicího transformátoru proudu.

Z kalibračního listu 0,01 % pro $k = 2$, takže: pro převod $p = 500$:

$$u_{pe} = 0,005 \% \cdot 500 = 25 \cdot 10^{-3}$$

Výrobce multimetru, který je ve funkci etalonu, uvádí v technické dokumentaci maximálně možnou chybu při měření na daném rozsahu (měříme 360 mV na rozsahu 1,0 V), pro daný teplotní rozsah:

$$\pm(0,015 \% \text{ měřené veličiny} + 0,005 \% \text{ z měřicího rozsahu})$$

Tento údaj je vždy potvrzen kalibrací. V uvedeném příkladu výsledná nejvyšší chyba měřené hodnoty 360 mV je:

$$\pm 104,0 \mu\text{V}$$

Standardní nejistota u_{uk} má rovnoměrné pravděpodobnostní rozdělení a pokud rozdíl mezi limitními hodnotami představuje $2 \cdot a$, v našem případě $2 \cdot a = 208 \mu\text{V}$, potom její velikost určíme pomocí vztahu:

$$u_{uk} = \frac{a}{\sqrt{3}} = 60,04 \mu\text{V}$$

Etalonový voltmetr má v kalibračním listu, pro daný rozsah měření a danou měřenou hodnotu, uvedenou rozšířenou nejistotu v pro koeficient rozšíření $k = 2$ (např. 180 μV). Standardní nejistota u_e má normální pravděpodobnostní rozdělení a její velikost určíme pomocí vztahu:

$$u_e = \frac{v}{2} = 90 \mu\text{V}$$

14.2.3 Vliv nejistoty etalonového odporu (můžeme zanedbat).

14.2.4 Vliv chyby odečítání hodnoty (rozlišitelnost) δI_R

Každý měřicí přístroj má konečné rozlišení, jehož vliv se podílí na výsledné celkové nejistotě. Standardní nejistota u_R má rovnoměrné pravděpodobnostní rozdělení a její velikost určíme pomocí vztahu:

$$u_R = \frac{b}{\sqrt{3}} = \frac{0,5}{1,73} = 0,288 \text{ A}$$

$b = \frac{1}{2}$ poslední platné číslice displeje u číslicového měřidla.

Určení citlivostních koeficientů

pro δU_K $c_1 = \frac{p}{R_e}$ pro δp_k $c_4 = \frac{U_x}{R_e}$

pro δU_e $c_2 = \frac{p}{R_e}$ pro δp_e $c_5 = \frac{U_x}{R_e}$

pro δI_R $c_3 = 1$

Kde: $p = 500$, $R_e = 0,1 \Omega$, $U_x = 360 \text{ mV}$

14.2.5 Přehled nejistot:

Veličina	Odhad	Standardní nejistota	Pravděpodobnostní rozdělení	Citlivostní koeficient	Príspevek k nejistotě
X_i	$x_i \text{ A}$	$u(x_i) \text{ A}$		c_i	A
I_x	1815	$u(\bar{I}) \text{ A}$	normální	1	0,63245
δU_K	0	$u_K \text{ V}$	rovnoměrné	$c_1 = 5 \cdot 10^3$	0,3002
δU_e	0	$u_e \text{ V}$	normální	$c_2 = 5 \cdot 10^3$	0,45
δU_R	0	$u_R \text{ A}$	rovnoměrné	$c_3 = 1$	0,288
δp_k	0	u_{pk}	rovnoměrné	$c_4 = 3,6$	1,04
δp_e	0	u_{pe}	rovnoměrné	$c_5 = 3,6$	0,09
I	$I_x \text{ A}$				

14.2.6 Celková standardní nejistota $u(U)$ odhadu U :

$$u(I) = \sqrt{u^2(\bar{I}_x) + u_K^2 + u_e^2 + u_R^2 + u_{pk}^2 + u_{pe}^2} = 1,366 \text{ A}$$

po zaokrouhlení na dvě platné číslice

$$u(U) = \pm 1,4 \text{ A}$$

14.2.7 Rozšířená nejistota měření:

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

$$U = k \cdot u(U)$$

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

14.2.8 Uvádění nejistoty v kalibračním listu:

Chyba údaje digitálního klešťového ampérmetru v kalibračním bodě 1800 A střídavých je:

$$(15,0 \pm 2,8) \text{ A}$$

Poznámka: Pro kalibrační bod 1800 A na rozsahu 2000 A je dle specifikace výrobce dovolená odchylka 2,5 % z měřené hodnoty, to je ± 45 A. Je zřejmé, že v daném příkladu kalibrovaný přístroj vyhovuje specifikaci.

Dodatečná poznámka, vždy uváděná k výsledku měření musí mít následující formu:

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

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

14.3 Příklad kalibrovaných měřidel

14.3.1 Digitální klešťový ampérmetr $3\frac{3}{4}$ digitu, rozsahy 39,99 A, 399,9 A a 2000 A, přesnost dle specifikace výrobce

14.3.2 Příklad kalibrační tabulky (kalibrační body).

Měřicí rozsah 2 000 A

Kalibrační bod [A]	20	600	1000	1400	1800
Etalonová hodnota [A]					
Naměřená hodnota [A]					
Odchylka [A]					
Nejistota [A]					

Měřicí rozsah	40 A		400 A	
Kalibrační bod [A]	4	36	40	360
Etalonová hodnota [A]				
Naměřená hodnota [A]				
Odchylka [A]				
Nejistota [A]				

15 Validace

Podle ČSN EN ISO/IEC 17 025:2018 čl. 7.2.1.4 se doporučují používat metody publikované buď v mezinárodních, regionálních nebo národních normách, nebo od renomovaných odborných organizací nebo v příslušných vědeckých publikacích nebo časopisech nebo specifikované výrobcem zařízení. Co se považuje za „standardní metodu“ definuje ILAC G18:2000 „Standard methods are developed by a standardization body or other well-established organizations whose methods are generally accepted by the technical sector in question.“ Standardní metody jsou metody vypracované normalizačním orgánem nebo jinou široce uznávanou organizací, jejíž metody jsou v dané odbornosti obecně akceptovány. V tomto případě se jedná o metodu popsanou v literatuře, která splňuje požadavky na validovanou metodu, a proto nemusí být dále validována. Jedná se o dokumenty:

- Understanding Errors When Calibrating Clamp Meters Using a Coil Transmille, Ltd Application Note
- The design, confirmation and use of a compact Current Coil set for clamp meter calibration, Paul C. A. Roberts, Fluke Precision Measurement Ltd, UK.
- PROCEDIMIENTO EL - 007 PARA LA CALIBRACIÓN DE PINZAS AMPERIMÉTRICAS. Centro Español de Metrología Tres Cantos, Madrid.
- LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE, SIT/Tec-014/06, SIT Servizio di Taratura in Italia.
- Enac NT-11 Rev. 1 October 2002 CALIBRACIÓN DE PINZAS AMPERIMÉTRICAS POR MEDIO DE BOBINAS
- MPZ číslo 0318-ZV-C1800-05 Klešťové ampérmetry. ČMI
- Interlaboratory Comparison on clamp-on meters and probes organized by SIT November 2002 – October 2003 preliminary evaluation, 27-28 November 2003
- P. P. Capra, F. Galliana, F. Francone Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferrari
- MEASUREMENT SYSTEM FOR THE CALIBRATION OF CURRENT CLAMP-METERS IN AC CURRENT: CHARACTERISTICS AND TRACEABILITY LEVELS

Změny proti předchozímu vydání

Tento kalibrační postup byl upraven s přihlédnutím k novým metrologickým předpisům a podle připomínek uživatelů. Dále byl doplněn o příklad stanovení nejistoty s odkazem na významný dokument měření při kalibraci PROCEDIMIENTO EL - 007 PARA LA CALIBRACIÓN DE PINZAS AMPERIMÉTRICAS. Centro Español de Metrología Tres Cantos, Madrid. a další dokumenty, včetně validace použité metody.

Upozornění

Tento kalibrační postup byl zpracován a posouzen v rámci úkolu programu rozvoje metrologie, řešeného pro Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví pod číslem VII/2/19.

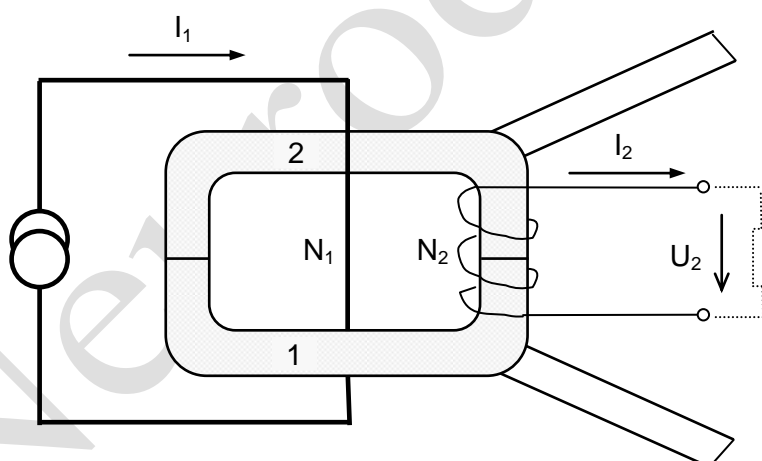
Kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky. V případě, že střediskem provádějícím kalibraci je akreditovaná kalibrační laboratoř, měl by být kalibrační postup navíc upraven podle příslušných předpisů (zejména MPA a EA).

Příloha – jen pro informaci (podle [14])

Klešťové ampérmetry se kalibrují již mnoho let. V principu jsou to proudové transformátory kde proud v primárním vinutí je měřen sekundárním vinutím. Zavedení polovodičových Hallových senzorů umožnilo použít podobnou techniku pro klešťové přístroje měřící ss a střídavý signál. Přístroje s Hallovými sondami mají obvykle mnohem větší indukčnost než přístroje s proudovými transformátory a jsou více citlivé na nehomogenitu měřeného pole a interference uvnitř závitů kleští. I přístroje s transformátory jsou citlivé na nehomogenitu a interferenci uvnitř ploch kleští a tato citlivost je závislá na kvalitě kontaktu obou stran kleští (vzduchové mezery). Oba typy kleští vyžadují homogenní magnetické pole uvnitř plochy kleští tak, jak je vytváří nekonečný rovný vodič, aby nevznikaly dodatečné chyby. Protože při kalibraci se většinou používají proudové cívky a je požadavek, aby tyto cívky vytvářely pole co nejshodnější s polem přímého nekonečného vodiče. Samozřejmě pole cívky je zkreslené tím více, čím je cívka menší. Rozměry a vlastnosti cívky jsou velmi důležité.

Princip činnosti klešťových přístrojů

Klešťové transformátory respektive klešťové ampérmetry a multimetry jsou důležité přístroje pro měření proudu, výkonu a elektrické energie v systémech, kde nelze rozpojit proudový obvod. Jak je patrné z obr. 22, jsou klešťové transformátory pro měření střídavého proudu založeny na stejném principu jako měřicí transformátory proudu

Uspořádání klešťového transformátoru

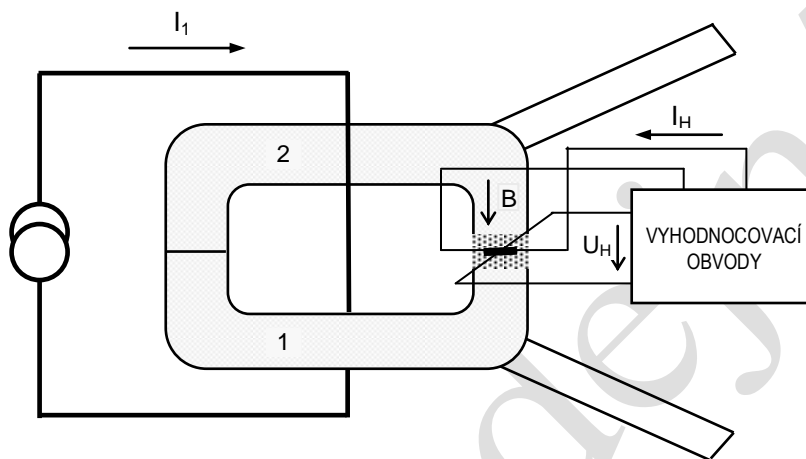
Obr. č. 23: Klešťový ampérmetr s transformátorovou sondou

Na rozdíl od měřicí transformátory proudu s typickou jmenovitou hodnotou sekundárního proudu 5 A nebo 1 A při zátěži 1 VA až 30 VA jsou klešťové transformátory konstruovány pro podstatně menší sekundární proud, jehož hodnota se pohybuje v oblasti do 100 mA při zátěži, která nepřesáhne 0,5 VA. Dělený magnetický obvod klešťové transformátory má za následek pokles permeability, a tím i nárůst chyb ve srovnání s MTP. Klešťové transformátory mají pouze vyvedené sekundární vinutí N_2 , takže zatěžovací rezistor R není součástí přístroje, nebo mají zatěžovací odpor zabudovaný v přístroji a výstupní veličinou je střídavé napětí úměrné měřenému proudu. Klešťové ampérmetry mají zatěžovací odpor zabudovaný v

přístroji spolu s obvody pro vyhodnocení napětí U_2 . Zobrazení měřeného proudu je u starších přístrojů analogové, v současné době je používáno převážně číslkové zobrazení pomocí LCD displeje.

Pro měření střídavého a stejnosměrného proudu bez rozpojení obvodu se používají klešťové ampérmetry založené na měření velikosti magnetické indukce B vyvolané v magnetickém obvodu měřeným proudem I_1 , jak je patrné z obr. č. 2. K měření magnetické indukce B se používá zpravidla Hallova sonda.

Klešťový ampérmetr s Hallovou sondou



Obr. č. 24: Klešťový ampérmetr s Hallovou sondou

Hallova sonda je umístěná ve vzduchové mezeře klešťového obvodu. Napětí na výstupu Hallovy sondy lze vyjádřit ve tvaru:

$$U_H = k I_H B, \quad (2)$$

Kde: k je konstanta závislá na parametrech sondy,
 I_H je pomocný proud sondy.

Za předpokladu, že magnetický obvod kleští je přerušen vzduchovou mezerou s Hallovou sondou, lze předpokládat, že jeho reluktance je konstantní, daná vzduchovou mezerou. Závislost magnetické indukce B na velikosti měřeného proudu I_1 lze při jednom průvleku vyjádřit ve tvaru

$$B = \frac{I_1}{S R_m}, \quad (3)$$

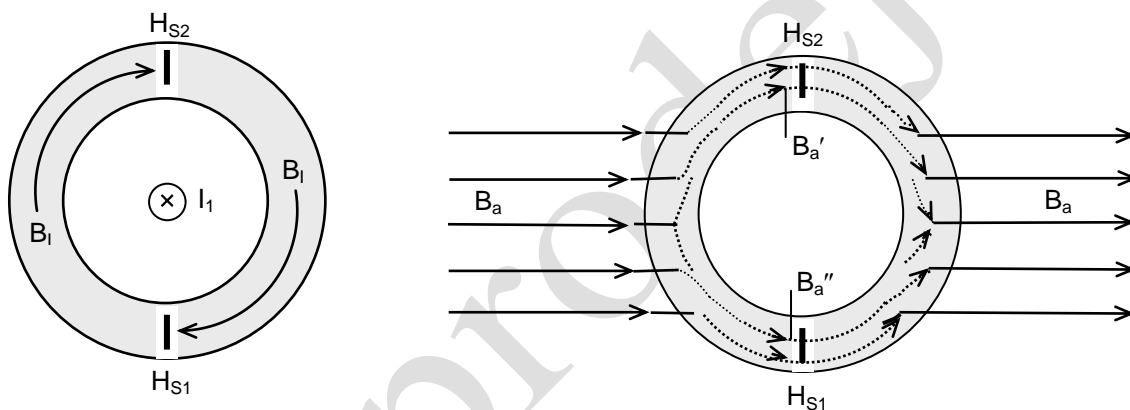
Kde: S je plocha průřezu feromagnetika kleští,
 R_m je reluktance magnetického obvodu kleští.

Za předpokladu, že magnetický obvod kleští je přerušen vzduchovou mezerou s Hallovou sondou, lze předpokládat, že jeho reluktance R_m je konstantní, daná vzduchovou mezerou a nezávisí na velikosti měřeného proudu I_1 . Při zanedbání rozptylového magnetického toku v blízkosti vzduchové mezery lze měřený proud podle (2) a (3) vyjádřit ve tvaru:

$$I_1 = \frac{S R_m}{k I_H} U_H \quad (4)$$

Hallova sonda je napájena konstantním stejnosměrným proudem I_H , takže časovému průběhu měřeného proudu $I_1(t)$ odpovídá časový průběh výstupního napětí $U_H(t)$. Uspořádání s Hallovo sondou se často využívá také k měření činného výkonu zátěže, kterou protéká měřený střídavý proud I_1 . Sonda je v tomto případě napájena pomocným proudem odvozeným z napětí na zátěži, takže podle (2) a (3) je okamžitá hodnota napětí $U_H(t)$ úměrná okamžité hodnotě výkonu odebíraného zátěží. Po filtraci v dolnofrekvenční propusti odpovídá střední hodnota výstupního napětí činnému výkonu odebíranému zátěží.

Aby se snížil vliv vnějších rušivých magnetických polí, používají se k vyhodnocení magnetické indukce zpravidla dvě Hallovy sondy. Na zjednodušeném obr. 26 a) je umístění a orien-



a) magnetické pole měřeného proudu I_1 b) vnější rušivé magnetické pole

Obr. č. 26: Kompenzace vlivu rušivého magnetického pole na údaj KLA

tace sond vzhledem ke snímanému magnetickému poli, vyvolanému vodičem s měřeným proudem I_1 obepnutým kleštěmi. Sondy jsou orientovány tak, aby se vlivem magnetického pole vyvolaného proudem I_1 a jemu odpovídající indukce B_1 jejich výstupní napětí sečítala. Na obr. č. 3 b je toto uspořádání vystaveno působení vnějšího magnetického pole s indukcí B_a , vyvolaného vodiči s proudem, které nejsou obepnuty kleštěmi. Je zřejmé, že pokud by byla použita pouze jedna Hallova sonda, vyvolá složka indukce B_a' resp. B_a'' nežádoucí chybový signál. V případě, že jsou použity dvě Hallovovy sondy s orientací podle obr. č. 3 a, napětí vyvolané podle obr. 3 b indukcí B_a' a B_a'' mají obrácená znaménka, jejich součet je nulový a vnější nežádoucí pole nemá vliv na údaj KA. Je třeba mít na zřeteli, že toto platí za předpokladu dokonalé symetrie magnetického obvodu a za předpokladu, že vodiče s proudem nejsou v těsné blízkosti kleští. Obdobně je tomu i u klešťové transformátory, kde je sekundární vinutí rozděleno do dvou stejných částí, navinutých na sloupky klešťového obvodu.

Při měření velkých stejnosměrných proudů pomocí klešťových ampérmetrů s Hallovo sondou může dojít ke zmagnetování feromagnetických částí klešťového obvodu. Remanentní

magnetická indukce ve feromagnetické části obvodu potom vyvolá nenulový signál při vypnutí proudu. Většina přístrojů má proto zabudovaný systém automatické kompenzace. Ten po zapnutí přístroje na krátkou dobu nastaví režim kompenzace, během něhož musí být kleště uzavřeny bez měřeného proudu. Nenulový signál z Hallovy sondy se ve vyhodnocovacích obvodech automaticky vykompenzuje a přístroj přejde do režimu měření.

Ve speciálních případech se u klešťových transformátorů pro snížení chyb používá dvoujádrové provedení klešťového obvodu s elektronickou kompenzací magnetického toku jádra. U klešťových ampérmetrů pro měření stejnosměrného proudu se používá zpětnovazební princip, kdy je signál z Hallovy sondy zesílen a výstup zesilovače napájí sekundární vinutí. Funkce je potom obdobná jako u KT a měřený proud se určuje analogicky jako ve vztahu (1). Výhodou tohoto principu je, že sonda pracuje jako nulový indikátor, takže se neuplatní její nelinearita, teplotní závislost atd. Nemůže také dojít ke zmagnetování feromagnetické části kleští, neboť indukce v obvodu kleští je neustále blízká k nule. Podstatnou nevýhodou tohoto řešení je velká energetická náročnost na napájecí zdroj a náročná konstrukce obvodu kleští se sondami a sekundárním vinutím. Proto se toto uspořádání používá pouze zřídka.

TYPICKÉ PARAMETRY KLEŠŤOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ A AMPÉRMETRŮ

Klešťové transformátory

Vyrábějí se pro jmenovité hodnoty primárních proudů I_{IN} v rozsahu od 5 A do 10 kA a s převodem $p_I = I_1/I_2$ v rozsahu 1 A/0,1 mA až 1 A/10 mA.

Velikost zatěžovacího odporu se pohybuje v rozmezí 2000 Ω až 20 Ω .

Plocha kleští se při kruhovém otvoru pohybuje v rozmezí \varnothing 12 mm pro proudy do 10 A, a dále až 52 mm pro proudy do 2 000 A;

Kleště pro měřený proud 9 000 A obepínají plochu 64 mm x 150 mm.

Pokud je zatěžovací odpor součástí klešťového transformátoru, pohybuje se pro shora uvedený proudový rozsah převodová konstanta U_2/I_1 v rozmezí 1 mV/A až 100 mV/A při minimálním zatěžovacím odporu 10 k Ω .

Chyba údaje měřeného primárního proudu se pohybuje v rozmezí 0,5 % až 1,5 % z měřené hodnoty. Chyba úhlu 0,5° až 1,5°. Tyto údaje platí pro síťový kmitočet. Frekvenční rozsah při prouděch do 300 A je 40 Hz až 10 kHz, nejistota se zpravidla neudává.

Klešťové ampérmetry a multimetry

Vyrábějí se pro měření stejnosměrných a střídavých primárních proudů v rozmezí 0,1 A až 2000 A, např. s rozsahy jmenovité hodnoty proudu 40 A, 400 A a 2 000 A.

Údaj je zpravidla zobrazen pomocí 4místného LCD displeje s rozlišením 0,01 A.

Chyba měřeného proudu se pro stejnosměrný i střídavý proud pohybuje v rozmezí $\pm(0,5 \% \text{ RDG} + 1 \% \text{ FS})$ až $\pm(1 \% \text{ RDG} + 2 \% \text{ FS})$.

Pro proudy větší než 1 000 A se chyba zvětšuje.

Při měření střídavých proudů platí chyby pro kmitočty 40 Hz až 60 Hz.

Protože k měření jsou využity Hallovy sondy umístěné v obvodu kleští, jsou ampérmetry vybaveny kompenzací zbytkového stejnosměrného magnetického pole.

Kompenzace probíhá automaticky při nastavení přepínače na měření stejnosměrného proudu a je indikována na displeji.

U proudových rozsahů do 500 A je maximální průměr vodiče, obepnutého kleštěmi 30 mm. U proudového rozsahu do 2 000 A je plocha obepnutá kleštěmi 60 mm x 80 mm.

Měřiče pracující na principu Rogowského cívky (mimo rozsah tohoto kalibračního postupu)

Jedná se o ohebné snímače střídavého proudu, používané převážně v sítích nízkého napětí k laboratorním i provozním měřením střídavých proudů technických kmitočtů ve vodičích nestandardních průřezů a v prostorově úsporných rozvaděčích.

Snímač je zpravidla doplněn elektronickým zesilovačem a integrátorem, umožňujícím přepínání rozsahů měřeného proudu. Napájení elektronických obvodů je podobně jako u KA bateriové.

Měřicí rozsahy se pohybují v rozmezí 50 A až 30 kA.

Typické jsou např. rozsahy: (50 – 100 – 300 – 1 000) A při výstupním napětí 1 V pro plný rozsah.

Chyba měřeného proudu se pohybuje v rozmezí 1 % až 2 % z měřené hodnoty a 2° v rozsahu kmitočtů 50 Hz až 400 Hz,

Pro kmitočty do 3 kHz je chyba měřeného proudu 3 % a chyba úhlu 10°. Chyba linearit nepřesáhne 0,2 %.

Délka smyčky se pohybuje v rozmezí 40 cm pro proudový rozsah do 1 000 A, až 1,5 m pro proudový rozsah do 30 kA.

Poznámka na závěr.

Metrologové často vidí v kalibraci klešťových přístrojů převážně tu výhodu, že lze kalibrovat i pro větší proudy, než pro které má laboratoř zdroje.

Uživatelé často vidí v užití klešťových přístrojů ale převážně tu výhodu, že lze měřit proud bez rozpojení obvodu. To musí metrologové při kalibraci respektovat a kalibrovat v celém rozsahu měření kleští.