



# Česká metrologická společnost

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

tel/fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.csvts.cz/cms

## Kalibrační postup

**KP 4.2.1/01/15**

### **ANALOGOVÁ PANELOVÁ MĚŘIDLA**

rozvaděčové a panelové přístroje

**Praha**  
Říjen 2015

**Vzorový kalibrační postup** byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace - Program rozvoje metrologie

**Číslo úkolu:** VII/1/15

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

**Řešitel:** Česká metrologická společnost

**Zpracoval:** Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.

© ÚNMZ, ČMS

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



## 1 Předmět kalibrace

Předmětem dále popsané metodiky kalibrace jsou **analogová panelová měřidla** (panelové a rozváděčové přístroje).

Jedná se o přístroje trvale zamontované do panelu.

Rozdělení přístrojů může být podle:

### Použití:

- |                |  |
|----------------|--|
| a) panelové    | jsou trvale namontovány v panelu velkého zařízení (například nabíječky, svářečky atd.),                |
| b) rozváděčové | jsou trvale namontovány v panelu technologických a energetických celků (rozvodny, transformovny atd.). |

### Měřené veličiny:

- |               |                                    |
|---------------|------------------------------------|
| a) voltmetry  | měří elektrické napětí DC nebo AC, |
| b) ampérmetry | měří elektrický proud DC nebo AC.  |

**Provedení elektromechanického měřícího ústrojí se jedná o přístroje:**

- feromagnetické,
- magnetoelektrické,

- c) elektrodynamické,
- d) indukční,
- e) elektrostatické.

**Rozsahu kalibrace:**

Stejnoseměrné napětí (dále DCU):	0 až 1000 V
Střídavé napětí (dále ACU):	1 mV až 1000 V, 50 Hz (40 Hz až 10 kHz)
Stejnoseměrný proud (dále DCI):	0 až 20 A
Střídavý proud (dále ACI):	1 $\mu$ A ÷ 20A, 50 Hz

**Ve třídách přesnosti:**

Tento kalibrační postup je určen pro kalibraci analogových panelových a rozvaděčových přístrojů stejnosměrných a střídavých v rozsazích a třídách přesnosti (1 – 1,5 – 2,5 – 5) %. Třída přesnosti se obvykle vyjadřuje z rozsahu měřidla, tedy při snižování výchylyky přístroje relativní povolená chyba údaje roste.

Postup stanoví metody zkoušení při kalibraci v referenčních podmínkách v prostorách laboratoře i v pracovních podmínkách v prostorách u zákazníka.

**Poznámka**

Přístroje se obvykle vyrábějí v rozsahu uvedeném v tabulce:

Veličina	Systém měřidla	Rozsah měření	
		min	max
DC I	magnetoel.	10 $\mu$ A	50 A
DC U	magnetoel.	50 mV	1000 V
AC I	magnetoel. s usměr.	1 mA	30 A
AC U	magnetoel. s usměr.	3 mA	600 V
AC I	elektromag.	10 mA	50 A
AC U	elektromag.	3 V	600 V

Přístroje s rozsahem mimo hodnoty v tabulce pracují obvykle s externími prvky, jako jsou bočníky a předřadné odpory a kalibraci je možné u nich provádět po částech.

**2 Související normy a metrologické předpisy**

ČSN IEC 51-9	Elektrické měřicí přístroje přímo působící ukazovací analogové a jejich příslušenství Část 9: Doporučené zkušební metody	[1]
Ostatní normy skupiny ČSN EN 60051	Podrobnosti viz příloha	[2]
Kalibrační postup KP 4.1.2/01/07/N	STEJNOSMĚRNÝ ANALOGOVÝ VOLTMETR	[3]
Kalibrační postup KP 4.1.2/02/07/N	STEJNOSMĚRNÝ ANALOGOVÝ AMPÉRMETR	[4]
Kalibrační postup KP 4.1.2/03/07/N	STŘÍDAVÝ ANALOGOVÝ VOLTMETR	[5]
Kalibrační postup KP 4.1.2 /04/07/N	STŘÍDAVÝ ANALOGOVÝ AMPÉRMETR	[6]
TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny	[7]

ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení.	[8]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří	[9]
EA – 4/02 M:2013	Vyjádření nejistoty měření při kalibraci	[10]

### **3 Kvalifikace pracovníků provádějící kalibraci**

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s kalibračním postupem upraveným na konkrétní podmínky kalibrační laboratoře nebo obdobného pracoviště provádějícího kontroly měřidel a souvisejícími předpisy.

Základní potřebné znalosti jsou uvedeny v příloze tohoto postupu.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například dokladovaným proškolením, osvědčením o odborné způsobilosti, osobním certifikátem apod.

Pracovníci provádějící kalibraci elektrických měřidel mají být osobami znalými s vyšší kvalifikací ve smyslu vyhlášky ČUBP č. 50/78 Sb.

Kvalifikace se musí dlouhodobě plánovitě udržovat a obnovovat. Vhodné je k tomu například i samostudium zařazené do plánu vzdělávání periodicky za vhodné období

Pokud pracoviště kalibraci podle metodiky dlouhou neprovádí, doporučuje se zařadit cvičné provedení kalibrace k udržení kvalifikace (například po půl roce)

Osvědčená je i metoda, kdy pracovník provádí nejprve několikrát kalibraci se školitelem, například technickým vedoucím laboratoře (signátorem), další pod dohledem a po absolvování a vyhodnocení takovéto skupiny kalibrací je pověřen pracovat samostatně.

### **4 Názvosloví, definice**

Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2), zejména v ČSN 010115 a v slovníku IEV (Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary), (IEC 60050).

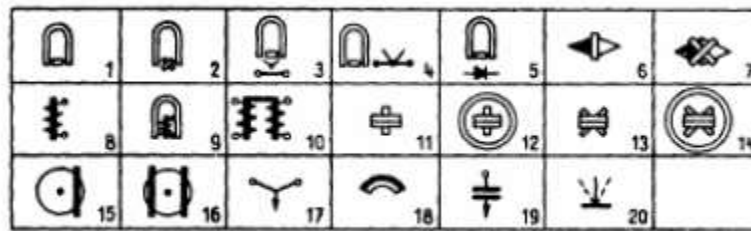
Slovník JCGM 200:2008 International vocabulary of Metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM) a International Vocabulary of Terms in Legal Metrology Vydaného v roce 2000: OIML je v TERMINOLOGIE Z OBLASTI METROLOGIE (2. vydání) dostupné na <http://www.unmz.cz/urad/sborniky-aktualni>.

Definice týkající se konstrukčních vlastností měřících přístrojů, jejich charakteristických vlastností a charakteristických hodnot, chyb a změn údajů, přesnosti, třídy přesnosti a značek el. měřících přístrojů přímopůsobících ukazovacích analogových jsou zakotveny v ČSN EN 60051-1 Část 1: Definice a všeobecné požadavky společné pro všechny části.

#### **a. Základní pojmy a značky**

##### **a) Značky používané na měřících přístrojích.**

Symbole pro značení přístrojů jsou uvedeny v ČSN EN 60051-1, tab.III-1:



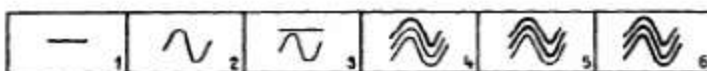
1. **magnetoelektrické ústrojí,**
2. poměrové magnetoelektrické ústrojí,
3. magnetoelektrické ústrojí s izolovaným termočlánkem,
4. magnetoelektrické ústrojí s neizolovaným termočlánkem,
5. **magnetoelektrické ústrojí s usměrňovačem,**
6. ústrojí s otočným magnetem,
7. poměrové ústrojí s otočným magnetem,
8. **ferromagnetické ústrojí,**
9. feromagnetické polarizované ústrojí,
10. poměrové feromagnetické ústrojí,
11. elektrodynamické ústrojí,
12. ferodynamické ústrojí,
13. poměrové elektrodynamické ústrojí,
14. poměrové ferodynamické ústrojí,
15. indukční ústrojí,
16. poměrové indukční ústrojí,
17. tepelné ústrojí s drátem,
18. tepelné ústrojí s bimetalem,
19. elektrostatické ústrojí,
20. rezonanční ústrojí.

Poznámka:

Nejčastěji používané typy jdou označeny tučně.

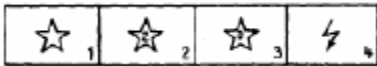
Někdy se používá označení: feromagnetický = elektromagnetický = Moving iron.

#### b) značky proudu a počtu měřicích ústrojí



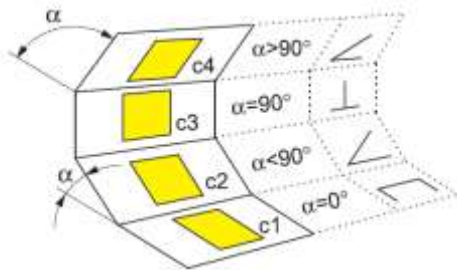
1. stejnosměrný proud,
2. střídavý proud,
3. stejnosměrný a střídavý proud,
4. trojfázový přístroj s jedním měřicí ústrojím,
5. trojfázový přístroj se dvěma měřicími ústrojemi,
6. trojfázový přístroj se třemi měřicími ústrojemi.

c) značky pro zkoušky elektrické pevnosti



1. zkušební napětí 500V,
2. zkušební napětí 2kV,
3. u přístroje se nedělá zkouška elektrické pevnosti,
4. elektrická pevnost přístroje neodpovídá předpisům.

e) značky polohy přístroje při měření



VÝZNAM ZNAČKY POLOH

	svislá
	vodorovná
	Šikmá (sklon stupnice vůči vodorovné poloze, např. 60°)

1. přístroj ve svislé poloze,
  2. přístroj ve vodorovné poloze,
  3. sklon přístroje 60°,
- Doporučuje se volba z řady 15°, 30°, 45°, 60°, 75° odklonu od vodorovné polohy.

f) Třídy přesnosti.

Každý analogový panelový měřicí přístroj zanáší do měření určitou chybu, která je způsobena řadou vnitřních rušivých vlivů. Přístroj jako celek pak vykazuje tzv. základní chybu, která je souhrnem těchto dílčích chyb. Každý panelový a rozvaděčový měřicí přístroj je proto charakterizován třídou přesnosti, která zahrnuje všechny dílčí chyby. Třída přesnosti je definována jako mezní (max.) relativní chyba v celém měřicím rozsahu přístroje.

Třídy přesnosti analogových měřicích přístrojů podle ČSN:

**(0,05 – 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 1,5 – 2,5 – 5) %.**

U panelových a rozvaděčových přístrojů stejnosměrných a střídavých přístrojů se využívají třídy přesnosti:

**(1 – 1,5 – 2,5 – 5) %.**

**g) značky tříd přesnosti**

třída přesnosti může být označena značkou na přístroji



1. třída přesnosti vyjádřená z největší hodnoty měřicího rozsahu,
2. třída přesnosti vyjádřená z délky stupnice,
3. třída přesnosti vyjádřená z měřené hodnoty.

**h) umístění značek na číselnicích měřicích přístrojů**

ukázka viz obr. 1:



**Obr.1:** Provedení a značky na panelových přístrojích

**i) Přetížitelnost analogového přístroje**

Je násobek jmenovité měřicí hodnoty, kterou přístroj snese, aniž se poškodí. Měřicí přístroje třídy přesnosti 1 až 5 musí snést trvale přetížení 1,2 násobek jmenovité hodnoty měřicího rozsahu bez poškození. Na objednávku existují přístroje s větší přetížitelností.

Voltmetry a ampérmetry třídy přesnosti 0,1 až 0,5 snesou trvale pouze jmenovité hodnoty napětí, nebo proudu.



Proudovou a napěťovou cívku wattmetru lze trvale přetěžovat o 20 %.  
Přístroje, které mají magnetoelektrické ústrojí s izolovaným termočlánkem, nebo magnetoelektrické ústrojí s neizolovaným termočlánkem přetěžujeme jen 5%.

#### j) Uložení ložisek a tlumení

Elektromagnetický systém bývá proveden s tlumením vzduchem nebo i silikonovým olejem s hrotovým uložením v ložiskových kamenech a pružinou na jedné straně.

Magnetoelektrický systém s jádrem, bývá proveden s hrotovým uložením v ložiskových kamenech a pružinami na obou stranách. Hodnotíme podle náběhu při funkční zkoušce.

## 5 Prostředky potřebné pro kalibraci

### 5.1 Základní prostředky

- Multifunkční kalibrátor, nebo kalibrátor výkonu a energie, nebo
- Stabilní (nekalibrovaný) zdroj a referenční multimetr.
- Propojovací vodiče dostatečně dimenzované,
- Lupa.

Kalibrátor může být například výroby Meatest, Fluke, Wavetek, Datron, Transmille aj.,  
Multimetr může být libovolný typ nejméně 5,5 dig.

**Použitý kalibrátor musí mít dostatečný výkon (compliance voltage a burden current).**

Dovolená nejistota hodnoty etalonu musí být minimálně v poměru 1:4 vůči třídě přesnosti kalibrovaného měřidla.

#### Parametry kalibrátorů:

Maximální proud u rozsahů DC U a AC U (**burden current**) je maximální proud do zátěže, pro který platí specifikace u rozsahů generování napětí u kalibrátorů.

Podle typu kalibrátoru je mezi 1 mA až 600 mA.

Maximální napětí u rozsahů DC I a AC I (**compliance voltage**) je maximální napětí na zátěži, pro které platí specifikace u rozsahů generování proudu u kalibrátorů.

Podle typu kalibrátoru je mezi 3 V až 10 V.

Maximální zátěž kalibrátoru rozvaděčovými přístroji je obvykle pod 8 VA.

U kalibrátoru, který zamýšlíme použít ke kalibraci, zhodnotíme jeho vhodnost prověřením, zejména:

- rozsahu, často nejsou nejnižší rozsahy kalibrátorů využitelné, protože jsou získány odporovým děličem a nemohou proto být proudově zatěžovány,
- na rozsazích měření napětí U kontrolujeme dostupný max. proud (burden current) na výstupu kalibrátoru,
- na rozsazích měření proudu I kontrolujeme dostupné max. napětí (compliance voltage) na výstupu kalibrátoru,
- na rozsazích měření proudu I kontrolujeme také, že není překročena povolená maximální kapacitní a induktivní zátěž kalibrátoru,
- zvláště pozorně je třeba pracovat s kalibrátory, které mají pouze dvousvorkový výstup a současně velký výstupní odpor (například Transmille 3010).

## 5.2 Ke kalibraci jsou dále potřebné následující pomůcky:

- Pomocný panel, (pokud přístroj není kalibrován v původním panelu), který musí být
  - podle provedení původního panelu podle označení,
  - **FeX** železný panel o tloušťce X mm,
  - **Fe** železný panel o jakékoliv tloušťce,
  - **NFe** neželezný panel jakékoliv tloušťky.
- 
- Teploměr s rozsahem minimálně 20 °C až 26 °C, dílek stupnice minimálně 0,2 °C,
  - vlhkoměr s měřicím rozsahem (0 až 100) % relativní vlhkosti
  - lupa se zvětšením min. 4x,
  - vodováha,
  - čisticí prostředky.

Poznámka: Všechna použitá měřidla, která mají vliv na výsledek měření, musí být navázána na etalon vhodného rozsahu a přesnosti a musí mít platnou kalibraci.

## 6 Obecné podmínky kalibrace

Referenční podmínky ovlivňujících veličin a jejich tolerance pro zkušební účely udává ČSN EN 60051-1 v TAB I-1.

Kalibrace se provádí za následujících referenčních podmínek:

- Teplota prostředí: 23°C ± 2°C .
- Relativní vlhkost vzduch: (40 ± 60) %.
- Zvlnění měřené DC veličiny 3% max.
- Zkreslení THF měřené AC veličiny 1% pro přístroj s usměřňovačem.
- Zkreslení THF měřené AC veličiny 3% pro přístroj reagující na efektivní hodnotu.

V těchto podmínkách je přístroj stabilizován po dobu minimálně 0,5 hodiny před započítáním samotné kalibrace.

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

Kontrola okolní teploty se provádí teploměry s rozlišením alespoň 0,2°C a nejistotou kalibrace pod 0,5°C.

Pro kontrolu vlhkosti se použije vlhkoměr pro měření relativní vlhkosti s rozsahem alespoň 30% až 90% a nejistotu kalibrace 5% RV.

Před zahájením kalibrace je třeba provést kontrolu vodorovné polohy pracovní desky, na které se budou voltmetry kalibrovat. Plocha, na níž je zkoušený voltmetr po dobu kalibrace umístěn, musí být zabezpečena proti chvění.

Přístroj kalibrujeme přednostně v původním panelu, ve kterém je zabudován.

Je přípustné kalibrovat přístroj i vyjmutý z původního panelu za podmínek, že bude použit náhradní panel s vlastnostmi podle označení na přístroji:

FeX	železný panel o tloušťce X mm,
Fe	železný panel o jakékoliv tloušťce,
NFe	neželezný panel jakékoliv tloušťky.

Musí být dodržena poloha podle polohy panelu.  
Poloha přístroje při kalibraci je udána značkami, je obvykle:



Značky polohy přístroje při měření podle obrázku ukazují:

1. přístroj ve svislé poloze,
2. přístroj ve vodorovné poloze,
3. sklon přístroje 60°.

Pokud je povoleno rozpětí odklonu panelu, označí se doporučená poloha a hranice, například 80°...90°...100°.

Poloha: nejistota polohy stanovená schematickou značkou na kalibrovaném měřidle má být při kalibraci nastavena na  $\pm 1^\circ$ .

## 7 Rozsah kalibrace

### Kalibrace rozvaděčových a panelových přístrojů

Kalibrace elektrických analogových přístrojů je poměrně jednoduchá, ale je potřebné znát a respektovat vlastnosti přístroje. Všechna základní data jsou obvykle uvedena na panelu měřidla a jsou dána mezinárodně normalizovanými znaky podle ČSN EN 60051-9:2000.

Panelové přístroje kalibrujeme, pokud je to možné v původní poloze a v původním panelu.

Pokud je měřidlo ke kalibraci vyjmuté z panelu, musí být při kalibraci zachována poloha měřidla (obvykle svislá, vodorovná nebo sklon 60°) v náhradním panelu ze správného materiálu a tloušťky (ferromagnetický nebo neferromagnetický panel).

Vždy počítáme s vlivem přívodů a výstupního odporu kalibrátoru.

Mnoho kalibrátorů má první rozsah odvozený odporovým děličem a na prvním rozsahu není vhodný pro kalibraci přístrojů s nezanedbatelným odběrem. Jedná se zejména o kalibrace pro přístroje feromagnetické, elektrodynamické a tepelné.

Pokud přístroj reaguje na střední hodnotu signálu, nejistota se zvětší o složku vlivem zkreslení THD (THF) kalibrátoru.

### Příprava před měřením

Před měřením musí být kalibrované měřidlo, pokud není kalibrováno v původním panelu, umístěno na pracovišti pro kalibraci za uvedených podmínek minimálně 0,5 hodiny.

Před zahájením vlastní kalibrace je třeba na kalibrovaném přístroji provést zkoušku provozuschopnosti.

## 8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

### 8.1 Přejímání zakázky

Při přejímání zakázky se provede vstupní kontrola a odsouhlasení se zákazníkem: zda bude kalibrace provedena na místě v původním panelu nebo s vyjmutým měřidlem umístěným v náhradním panelu,

1. zda jsou použité etalony schopné podat dostatečný výkon.  
Pro feromagnetické (elektromagnetické) přístroje a elektrodynamické měřicí přístroje bývá vlastní spotřeba velká až několik VA,
2. souhlas zákazníka, že nebude provedena kontrola elektrické pevnosti izolace, pokud je zkouška elektrické pevnosti izolace požadována, postupuje se podle lit [3], článek 9.4,
3. souhlas zákazníka, že nebude provedena kontrola isolačního odporu, pokud je zkouška isolačního odporu požadována, postupuje se podle lit [3], článek 9.5,
4. souhlas zákazníka s frekvencemi kalibrace u AC U a AC I,
5. rozhodnutí zákazníka, zda požaduje kalibrační list v provedení,
  - a) s uvedením střední hodnoty měřeného signálu a hystereze, nebo,
  - b) s uvedením výsledků měření při zvyšování při snižování úrovně signálu při měření (měření při zvyšování signálu směrem nahoru a měření směrem dolů),
  - c) pro panelové přístroje se doporučuje postup podle bodu a.

### 8.2 Příprava přístroje ke kalibraci

Při přebírání přístroje ke kalibraci je třeba zjistit, zda typ, výrobní číslo a příslušenství dodaného přístroje odpovídá údajům uvedeným v objednávce, nebo dodacím listu.

Zkouška elektrické pevnosti izolace se obvykle neprovádí, nutně zapsat do záznamu o příjmu měřidla.

Zkouška isolačního odporu se obvykle neprovádí, nutně zapsat do záznamu o příjmu měřidla  
Před započítím kalibrace se musí vykonat tyto úkony:

#### Vnější prohlídka

Zkontrolovat vzhled přístroje, stav připojovacích šňůr a konektorů, mechanickou funkci ovládacích prvků.

Zkontrolovat čitelnost stupnice.

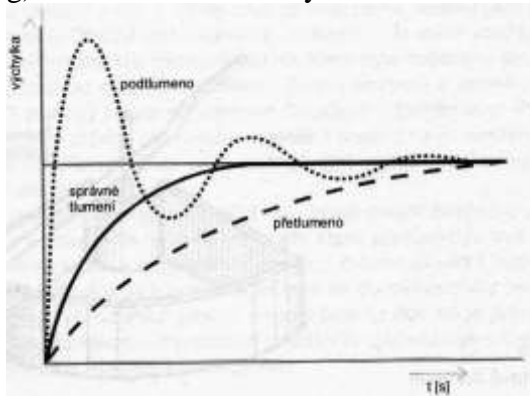
#### Zkouška provozuschopnosti

Zjišťuje se, zda:

- a) Připojovací svorky jsou spolehlivě upevněné,
- b) zkontrolovat čitelnost a uložení stupnice,
- c) zkontrolovat vzhled a nepoškozenost pouzdra přístroje, stav připojovacích šňůr a svorek, mechanickou funkci ovládacích prvků, pokud jsou použity,
- d) pomalým plynulým zvyšováním signálu od 0 až na 120 % (pro přístroje magnetoelektrické ústrojí s izolovaným termočlánkem a magnetoelektrické ústrojí s neizolovaným termočlánkem jen 105 % z rozsahu) a zpět se provede kontrola, zda měřicí ústrojí nikde nezadrhává, pohyb ukazovatele výchylky musí být plynulý při zvětšování i zmenšování signálu, bez zadrhávání. V případě jakékoliv pochybnosti o možnosti zadrhnutí měření opakujeme,

***(Zadrhávání je závažná závada a přístroj se musí před kalibrací nejprve opravit)***

- e) tlumení - připojení signálu asi 50 % z rozsahu, viz obr. 2, má být blízké k aperiodickému,
- f) pokud jsou použity přepínače nebo kolíčky k přepínání měřicích rozsahů, kontrolujeme, že jsou funkční a mají správnou aretaci odpovídající zvolenému měřicímu rozsahu,
- g) nastavitelnost nuly.



Obr 2. Ukázka průběhu ustálení vlivem tlumení

### Příprava k měření

Zapnout etalon do sítě a nechat ustálit minimálně 30 minut.

Zkontrolovat nastavení mechanické nuly, v případě potřeby dostavit.

Zapnout kalibrovaný přístroj na napájení a nechat ustálit po dobu uvedenou v dokumentaci výrobce. Není-li tato doba uvedena, lze ponechat maximálně 30 minut.

Těsně před započítáním kalibrace se již nesmí čistit sklo analogových přístrojů.

## 9 Postup kalibrace

### 9.1 Volba měřicích bodů

U přístrojů třídy přesnosti 1 % a horší je kalibrace provedena minimálně na pěti značkách rozmístěných rovnoměrně po celé délce stupnice, včetně dolní a horní meze měřicího rozsahu.

Pokud má přístroj více stupnic, volí se měřicí body stejným způsobem na každé stupnici.

Přístroje s oboustrannou stupnicí jsou kalibrovány stejně v levé i v pravé části stupnice

### 9.2 Vlastní kalibrace

#### Nastavení nuly

1. Před zahájením každé série odečítání údajů musí být na přístroji odpojeném od všech napájecích zdrojů pomocí stavítka mechanické nuly nastaven ukazatel na nulovou značku stupnice nebo na příslušnou kontrolní značku na stupnici následujícím postupem:

a) Pohybovat stavítkem mechanické nuly ve směru potřebném k přivedení ukazovatele na nulovou značku přístroje.

b) V průběhu posouvání ukazovatele ve zvoleném směru nastavit ukazovatel na nulovou značku při poklepu na pouzdro přístroje. Jakmile byl zvolen směr posouvání, neměnit jej, pokud není ukazovatel na nulové značce.

c) Když je ukazovatel nastaven na nulové značce, obrátit směr pohybu stavítka mechanické nuly a pohnout jim v mezích mechanické vůle (mrtvého chodu) stavítka mechanické nuly, avšak tak, aby nedošlo ke změně polohy ukazovatele.

*Výjimka:* U přístrojů bez stavítka mechanické nuly nebo s mechanickou nulou vně stupnice nesmí být znovu nastavování prováděno.

Během zkoušky se již nesmí ukazovatel znovu nastavovat na nulovou značku

2. Při nulovém napětí na svorkách zkontrolovat nulovou výchylku ukazatele, přípustná odchylka je méně než odpovídá polovině třídy přesnosti.

3. Podle dokumentace výrobce kalibrovaný přístroj připojit k napěťovým svorkám kalibrátoru a nastavit rozsah (DCI nebo DC U, nebo ACU nebo ACI (frekvence taková, na jaké je přístroj používán), odpovídající základnímu rozsahu kalibrovaného přístroje.

### **Vlastní provedení kalibrace**

4. Dostatečně pomalým zvyšováním proudu kalibrátoru vychylovat ukazatel (bez překmitu a bez poklepu) přesně na každou zvolenou značku, zvolenou podle odst. 9.1.2. - „Hodnota naměřená nahoru“.

5. Hodnota nastavená na kalibrátoru, která odpovídá takto dosažené výchylce je „Hodnota konvenční“  $M_{K\text{nahoru}}$ .

6. Po dosažení maximální hodnoty měřicího rozsahu zvýšit napětí na 120 % maxima měřicího rozsahu nebo na mechanický doraz (podle toho, co je menší).

7. Dostatečně pomalým snižováním proudu kalibrátoru vychylovat ukazatel (bez překmitu a bez poklepu) přesně na tytéž značky jako v článku 9.1.2. - „Hodnota naměřená dolů“.

8. Hodnota indikovaná kalibrátorem, která odpovídá takto dosažené výchylce je „Hodnota konvenční“  $M_{K\text{dolů}}$ .

Kalibrovaný voltmetr se připojí na takovou hodnotu signálu po takovou dobu, které jsou uvedeny v jeho technické dokumentaci. Není-li čas temperování měřidla při zatížení uveden, určuje se chyba ihned po jeho zapojení do obvodu.

Poklepávat na přístroj během zkoušky za účelem dostavení ukazatele na daný dílek je zakázáno - dojde-li k překývnutí ručky nad (pod) zkoušený dílek, musí se nastavování opakovat od předcházejícího číslovaného dílku.

*Poznámka:* U přístrojů, které mají nulu umístěnu uvnitř stupnice, musí být tento postup proveden příslušným způsobem pro obě strany od nulové značky stupnice.

9. Hystereze, daná rozdílem mezi hodnotami  $M_{K\text{nahoru}}$  a  $M_{K\text{dolů}}$  nemá přesahovat 1/2 z třídy přesnosti měřidla.

10. Pokud je hystereze větší než 1/2 třídy přesnosti, provedeme opakované měření podle postupu podle článku 9.1.2. bod 1 až 8 nejméně 3x.

Pokud se velká hystereze potvrdí, projednáme postup se zákazníkem.

11. Z hodnot naměřených v jednotlivých sériích vypočítat průměrnou hodnotu.

*Poznámka:* Při odečtu hodnoty na měřidle je nutné potlačit chybu vlivem paralaxy, to znamená, že oko musí být při odečtu kolmo proti poloze ručky měřidla.

### 9.3 Kalibrace dalších rozsahů a frekvenční závislosti (pokud je jimi přístroj vybaven)

#### Volba měřicích bodů pro další rozsahy

Pokud má přístroj možnost přepnutí rozsahu na další rozsahy, u dalších rozsahů stačí provést kalibraci nejméně na 3 následujících značkách stupnice:

- na očíslované značce, odpovídající maximální hodnotě příslušného rozsahu,
- na dvou očíslovaných značkách, na nichž byla zjištěna maximální kladná a maximální záporná chyba při kalibraci.

#### Volba měřicích bodů pro kontrolu frekvenční závislosti

##### Kalibrace amplitudové charakteristiky

Je provedena na frekvenci, která je na stupnici měřidla označena uprostřed nebo tučně.

Kalibrace frekvenční charakteristiky – u střídavých přístrojů je provedena nejméně na frekvencích, které jsou na stupnici označeny nebo podrobněji.

##### Volba měřicích bodů

Měřicí signál zvolit v horní třetině základního rozsahu. Měřicí frekvence zvolit rovnoměrně v celém frekvenčním rozsahu kalibrovaného přístroje.

##### Kalibrace po částech

Příklad



**Obr.3:** Značky na přístroji, příklad

V případě, že je to vhodné, například u přístrojů s bočníky nebo s předřadnými odpory, například když není k dispozici dostatečně dimenzovaný zdroj, je možné provést kalibraci po částech, která se skládá z kalibrace použitého panelového měřidla podle této metodiky a z kalibrace použitého bočníku, nebo předřadného odporu, nebo měřicího transformátoru podle k tomu příslušné metodiky. V případě podle obrázku je to kalibrace bočníku 40A/60 mV.

## 10 Vyhodnocení kalibrace

Základní chyba měřidla  $\delta_0$  vyjádřená v procentech měřicího rozsahu se vypočítá ze vztahu:

$$\delta_0 = \frac{A_N - A_S}{A_M} \cdot 100 (\%),$$

kde:  $A_N$  - nastavená hodnota na kalibrovaném měřidle,  
 $A_S$  - odpovídající hodnota (konvenční) etalonového přístroje,  
 $A_M$  - maximální hodnota měřicího rozsahu.

Na žádné zkoušené značce nesmí zjištěná chyba zvětšená o rozšířenou nejistotu  $U$  převyšovat hodnotu dovolené chyby kalibrovaného měřidla:

$$|\delta_0| + U \leq \delta = K_N,$$

kde:  $\delta_0$  - zjištěná základní chyba kalibrovaného měřidla v %,  
 $U$  - rozšířená nejistota měření v %,  
 $\delta$  - dovolená chyba kalibrovaného měřidla v %,  
 $K_N$  - číslo označující třídu přesnosti měřidla.

Mají-li se stanovit korekce, pak se základní chyba zkoušeného měřidla určuje pro každou značku jako aritmetický průměr z chyb zjištěných při zvyšování a snižování napětí.

Zbytková odchylka ukazovatele od nulové značky se zjišťuje při plynulém zmenšování napětí od maximální hodnoty rozsahu po nulu.

Zbytková odchylka ukazovatele od nulové značky " $\Delta l$ " nesmí přesahovat polovinu hodnoty vypočítané ze vztahu:

$$\Delta l = \frac{K_N \cdot l}{100},$$

kde:  $\Delta l$  - zbytková odchylka ukazovatele od nulové značky,  
 $K_N$  - číslo označující třídu přesnosti měřidla,  
 $l$  - délka stupnice měřidla v mm.

### Postup vyhodnocení

Nastavené hodnoty v dílcích nebo (a) v dané veličině a jim odpovídající konvenční hodnoty v dílcích nebo (a) v dané veličině etalonového přístroje a chyby zjištěné na jednotlivých značkách stupnice kalibrovaných měřicích rozsahů jsou uvedeny v kalibračním listě spolu s nejistotami. Vyhodnocení spočívá v porovnání zjištěných chyb zvýšených o rozšířenou nejistotu měření  $U$  s dovolenými chybami. Vyhodnocení ostatních bodů je uvedeno v článku 9.

Pokud je na stupnici měřidla uvedena třída přesnosti jako číslo bez grafických doplňků, značí to, že dovolená chyba je vztahována na maximální hodnotu měřicího rozsahu.

Je-li na stupnici měřidla uvedena třída přesnosti jako číslo doplněné grafickým symbolem obrácená stříška, značí to, že dovolená chyba je vztahována na délku stupnice (velmi výjimečné).

*Poznámka:*

*Symbole pro značení přístrojů a jejich příslušenství jsou uvedeny výše podle v ČSN EN 60051-1, tab.III-1.*



### **Postup v případě neshody**

V případě, že kalibrovaný voltmetr nevyhověl na některém měřicím rozsahu při zkoušce základní chyby požadavkům na něj kladeným tak, že vyhovuje svou přesností nejbližší vyšší (horší) třídě přesnosti, může být, pokud zákazník souhlasí, do této třídy přesnosti přeřazen. V tomto případě však musí být změna v zařazení viditelně a trvanlivě na měřidla označena, obvykle štítkem na krytu přístroje. V kalibračním listě musí být proveden patřičný záznam. Přeřazení je podmíněno tím, že kalibrační laboratoř má prověřeno (např. z předcházejících záznamů tohoto měřidla), že do příští kalibrace zkoušený přístroj nepřevyší hodnotu přeřazené třídy přesnosti.

Je-li zjištěná chyba větší nebo nevyhověl-li přístroj jiným požadavkům, je odstraněn z přístroje kalibrační štítek a kalibrační laboratoř předává objednateli návrh na opravu, případně na vyřazení měřidla.

## **11 Kalibrační list**

### **11.1 Náležitosti kalibračního listu**

Výsledky měření by měly být uváděny v souladu s normou ČSN EN ISO 17025 a jejího článku 5.10 – Uvádění výsledků. Jednou z forem je kalibrační list.

### **11.2 Kalibrační list**

Kalibrační list by měl obsahovat tyto údaje:

- a) název a adresu kalibrační laboratoře,
- b) pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) jméno a adresu zadavatele, popř. zákazníka,
- d) název, typ, výrobce a identifikační číslo kalibrovaného měřidla,
- e) datum přijetí přístroje ke kalibraci (nepovinné), datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 4.2.1/01/15),
- g) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),
- h) měřidla použitá při kalibraci,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření (etalony použité při kalibraci),
- j) výsledky měření a s nimi spojenou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
- k) jméno pracovníka, který měřidlo kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

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

Pokud provádí kalibrační, resp. metrologická laboratoř kalibraci pro vlastní organizaci, může být kalibrační list zjednodušen, případně vůbec nevystavován (výsledky kalibrace mohou být uvedeny např. v kalibrační kartě měřidla nebo na vhodném nosiči, popř. v elektronické paměti). V tomto případě je vhodné, aby kalibrační laboratoř zpracovala záznam o měření (s uvedenými měřeními hodnotami) a archivovala jej. Podrobnější pokyny se očekávají po revizi normy ISO/IEC 17025 v roce 2016.

### 11.3 Protokoly

Originál kalibračního listu se předá zadavateli kalibrace. Kopii kalibračního listu si ponechá kalibrační laboratoř a archivuje ji po dobu nejméně pěti let nebo po dobu stanovenou zadavatelem zároveň se záznamem o kalibraci. Doporučuje se archivovat záznamy a kalibrační listy chronologicky. Výsledky kalibrace se mohou v souladu s případnými podnikovými metrologickými dokumenty zanášet do kalibrační karty měřidla nebo ukládat do vhodné elektronické paměti. Revize normy ČSN EN ISO/IEC 17025 v roce 2017 upřesní elektronický záznam výsledků.

### 11.4 Umístění kalibrační značky

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

## 12 Péče o kalibrační postup

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

Změny, popř. revize kalibračního postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele (vedoucí kalibrační laboratoře, technický vedoucí, signátor nebo metrolog organizace, podle zavedeného systému v konkrétní organizaci).

Doporučuje se plánovitě provádět periodické revize kalibračních postupů. Při revizi hodnotíme nejen aktuálnost provedení postupu, ale i historii kalibrací použitých etalonů a přiměřenost stanoveného CMC. Pro neakreditované laboratoře je přiměřená lhůta mezi revizemi obvykle 5 let, pro akreditované laboratoře je výhodné využít k revizi plánované termíny reakreditace.

## 13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

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

### 13.1 Rozdělovník

Kalibrační postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

**13.2 Úprava a schválení**

Kalibrační postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

**13.3 Revize**

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

**14 Stanovení nejistoty měření (příklad výpočtu)****Přesnost analogových měřidel**

Chyba analogového přístroje je stanovena **třídou přesnosti**.

Analogové přístroje se vyráběly v normou stanovených třídách přesnosti.

Třída přesnosti je výrobcem zaručovaná největší možná relativní chyba přístroje  $\delta p$ , vyjádřená v procentech rozsahu měřené veličiny. Třídy přesnosti jsou normovány v hodnotách %:

**0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5.**

Výhodou bylo, že pokud přístroj při kalibraci byl jen málo mimo specifikovanou třídu přesnosti, mohl se přeradit do sousední horší třídy přesnosti.

Přesnost je brána z rozsahu, ne z měřené hodnoty. Přesnost analogových přístrojů je tedy definována z délky stupnice. To v praxi znamená, že například pro třídu přesnosti 1 %, platí 1 % jen pro plný rozsah, v polovině je to už 2 % a v desetíně rozsahu by to bylo 10 %. Proto jsou rozsahy u analogových přístrojů voleny v hustší řadě než u číslicových.

**Rozlišení čtení** analogových měřidel je omezeno šířkou ukazatele stupnice, paralaxou, kmitáním ručičky, přesností tisku stupnice, nastavením nuly, i chybou v důsledku neideálně vodovorného postavení mechanického displeje.

Přesnost čtení naměřených hodnot je také často omezena chybou pozorování vlivem paralaxy a hlavně u starších lidí nedokonalostí zraku.

Dosažitelné rozlišení je obvykle na dvě a půl až tři číslice a je obvykle dostačující k omezené přesnosti potřebné pro většinu měření.

Panelové přístroje mají obvykle výrazný ukazatel a nemají opatření pro přesnější odečítání typu nožová ručka a podložní zrcátko.

Rozlišovací schopnost kalibrovaného přístroje označíme -  $\delta_{rk}$ .

Rozlišovací schopnost je u analogových přístrojů dána dělením stupnice, délkou stupnice, tloušťkou ukazatele a značek na stupnici, zda má přístroj zrcátko nebo ne (u rozvaděčových není zrcátko obvyklé) a individuálními schopnostmi pracovníka provádějícího kalibraci. Při nastavení ukazatele na značku stupnice lze pro odhad rozlišení vycházet z těchto zásad:

- rozlišovací schopnost u přístrojů se stupnicí se zrcátkem je 2x až 3x lepší než u přístrojů se stupnicí bez zrcátka,
- rozlišovací schopnost přístrojů třídy přesnosti 0,5 % a lepších je  $(5 \div 10)$  % nejmenšího

dílku stupnice,

c) rozlišovací schopnost přístrojů třídy přesnosti 1 % a horších je  $(10 \div 20)$  % nejmenšího dílku stupnice.

#### **Příčina chyb analogových měřicích přístrojů:**

- a) nepřesnost výroby a kalibrace ,
- e) stárnutí materiálu,
- b) rušivé síly a momenty (tření v ložiskách),
- f) opotřebení přístroje,
- c) vnitřní rušivá magnetická a elektrická pole,
- d) oteplení vlastní spotřebou.

#### **Rušivé vlivy při měření.**

##### **Ovlivňující vlivy:**

- a) Mechanické vlivy.
- b) Teplota.
- c) Vnější magnetická pole.
- d) Kmitočet.
- e) Tvar křivky časového průběhu.

##### **a) Mechanické vlivy**

Velmi kritické bývá tření. Na jeho velikost má vliv má hmotnost otočného ústrojí a jeho uložení. Vliv tření lze vyloučit použitím závěsného uložení. Na údaje přístroje působí také nepříznivě otřesy. Je dobré přístroj umístit při měření na pružnou podložku. Důležitá při měření je také poloha přístroje. Bývá vyznačena na stupnici přístroje.

##### **b) Teplota**

V závislosti na teplotě se mění odpor cívek, předřadných odporů a bočniců. Dále je to také magnetická indukce permanentních magnetů, řídicí moment, nebo rozměry součástek. Teplotní vlivy omezujeme vhodným chlazením, výrobou součástek z materiálů s malým teplotním součinitelem, teplotní kompenzací cívek (k cívkám připojujeme teplotně závislé rezistory ), omezujeme vlastní spotřebu přístroje atd.

##### **c) Vnější magnetická pole**

Ovlivňují přístroje jejichž vlastní pole jsou slabá. Omezení vlivů těchto polí provádíme vhodným magnetickým stíněním (kryty z feromagnetických materiálů).

##### **d) Kmitočet**

Způsobuje změnu údajů u přístrojů, jejichž pohybový moment na kmitočtu závisí (např. indukční soustava). Dále se projevuje u přístrojů, jejichž vnitřní odpor není činný, ale má i reaktanční složku (způsobeno např. vinutými předřadnými odpory nebo bočnicí). Potlačení těchto vlivů se provádí např. bifilárním vinutím rezistorů, nebo kmitočtovou kompenzací (s měřenou cívkou jsou zapojeny kmitočtově závislé součástky).

##### **e) Tvar křivky časového průběhu**

při měření střídavého signálu. Některé přístroje měří efektivní hodnotu měřené veličiny, jiné střední hodnotu. Magnetoelektrické přístroje s usměrňovačem měří střední hodnotu, ale stupnice mají kalibrované v hodnotách efektivních. Měříme-li efektivní hodnotu

nesinusového průběhu, pak měříme s dodatečnou chybou.

### Vlastní spotřeba měřicího přístroje

Je výkon, který přístroj odebírá z měřeného obvodu. U střídavých přístrojů se udává ve VA a u stejnosměrných přístrojů ve W. Vlastní spotřeba měřicích přístrojů by měla být hlavně u univerzálních měřidel co nejmenší. Pro panelové přístroje ale není spotřeba podstatným parametrem a tak se používají jednoduší a vysoce spolehlivé jednodušší konstrukce hlavně elektromagnetického typu, jejichž spotřeba je podstatně větší než u magnetoelektrických měřidel, obvykle bývá od 2,5 VA až do 8 VA.

### Kalibrátory

Kalibrátory se obvykle nehodí na prvním děleném rozsahu pro přímou kalibraci analogových měřidel, protože první rozsah kalibrátorů je získán dělením a má velký vnitřní odpor (obvykle 50Ω). Některé kalibrátory mají velký vnitřní odpor a jen dvousvorkový výstup i na ostatních rozsazích. Proto vždy uvažujeme výstupní odpor i odpor přívodů.

Kalibrátory mají často velké zkreslení THF, THD, které musíme uvažovat u všech měřidel, která nejsou true RMS (to je měřidla s termočlánsky, elektromagnetická a dynamického principu).

Obvykle magnetoelektrické přístroje měří střední hodnotu (nejčastěji deprezský s usměrňovačem) a zobrazují výsledek násobený ( $\approx 1,11$ ).

Vliv THD na údaj je měřidla reagujícího na střední hodnotu je závislý na tom, o kterou harmonickou v jakém fázovém vztahu k základní se jedná. Možný výsledek ukazuje tabulka.

Harmonická složka	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%



Obr.4: příklad provedení stupnice

### Stanovení nejistoty při kalibraci (příklad)

Nejistota kalibrace se stanoví podle modelu EA - 4/02, příklad S9  
Příklad výpočtu nejistot při kalibraci stejnosměrného analogového měřidla:  
Kalibrace Elektromagnetický voltmetr Mb96.

Systém magnetoelektrický.

Rozsah 300V.

Frekvence 50 Hz, AC.

Třída přesnosti 1,5 podle ČSN EN 60051-1.

Stupnice 240°, viz obrázek.

Etalon:

vyhovuje například Přenosný multifunkční kalibrátor Meatest M141.

Vlastnosti:

Napětí celkový rozsah napětí: 1 mV – 750 V AC,

interní rozsahy napětí: 100 mV, 1 V, 10 V, 100 V, 750 V,

kmitočtový rozsah v režimu AC: 1 mV až 10V: 20 Hz až 2 kHz,

10V až 750 V: 40 Hz až 1 kHz, přesnost kmitočtu 0,01%.

Specifikace podle výrobce.

### Střídavé napětí

rozsah	% z hodnoty + % z rozsahu
<b>20 Hz - 200 Hz</b>	
1 mV – 10 mV	0.20 + 0.05 + 20 $\mu$ V
10 mV – 100 mV	0.10 + 0.03 + 20 $\mu$ V
100 mV – 1 V	0.05 + 0.005
1 V – 10 V	0.05 + 0.005
10 V – 100 V *1	0.05 + 0.010
100 V – 750 V *1	0.07 + 0.02

\*1 Rozsah 10V až 750 V v kmitočtovém pásmu 40 Hz až 1 kHz

### Vedlejší parametry napětivého výstupu

rozsah	10mV	100mV	1V	10V	100V	750V
THD <sup>1)</sup>	0,05% + 200 $\mu$ V	0,05% + 300 $\mu$ V	0,05%	0,05%	0,05%	0,2%
Maximální proudová zátěž	5 mA	5 mA	10 mA	30 mA	10 mA	2 mA
Výstupní impedance	< 10 m $\Omega$	< 10 m $\Omega$	< 10 m $\Omega$	< 10 m $\Omega$	< 100 m $\Omega$	< 100 m $\Omega$
Maximální kapacitní zátěž	500 pF	500 pF	500 pF	500 pF	300 pF	150 pF

<sup>1)</sup> parametr zahrnuje nelineární zkreslení výstupního signálu a neharmonické pozadí

### Rozbor nejistot:

Rozvaděčový AC voltmetr typu Mb96 třídy přesnosti 1,5, měřicí rozsah 300 V, je kalibrován včetně nezaměnitelných přívodních vodičů na hodnotě 100 V přímou metodou pomocí etalonového kalibrátoru Meatest M141, jehož přesnost je  $\pm(0,05 \% \text{ z hodnoty} + 0,01 \% \text{ z rozsahu})$ , což při 100 V na rozsahu 100 V odpovídá hodnotě  $\pm 0,06 \text{ V}$  ( $\delta V_S = 0,07 \text{ V}$ ).

Teplota okolí je  $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  a relativní vlhkost  $55 \% \pm 10 \%$ .

Napájecí napětí a frekvence je v požadovaných tolerancích.

Kalibrátor je kalibrován s jednoletou periodou, rozšířená nejistota jeho kalibrace z kalibračního listu na 100 V je 2 mV pro  $k = 2$  (1 mV pro  $k = 1$ ).

Po kontrole mechanické nuly je na voltmetru postupně nastavován vždy celý číslovaný dílek (nejprve zesponu a následně zeshora) a na kalibrátoru je odečítána jeho hodnota ve voltech. Voltmetr Mb96 má specifikovaný vnitřní odpor 1000 Ω/V což při napětí 100 V odpovídá 10x nižšímu zatížení (1 mA), než je povolená max. hodnota kalibrátoru (10 mA). Vliv vnitřního odporu a odporu přívodů byl prověřen paralelně připojeným etalonovým digitálním voltmetrem.

Kapacita zátěže je v limitu povolené tolerance kalibrátoru.

Nelineární zkreslení signálu kalibrátoru je podle specifikace tak malé, že nemá vliv na nejistotu měření.

Voltmetr Mb96 má rozsah 300V a 30 dílkovou stupnici, kde jeden dílek odpovídá 10 V (1 dílek). S ohledem na praxi technika, který provádí měření a použití lupy a způsob kalibrace, lze max. rozlišení stanovit jako 2 V ( $\delta V_{iXROZ} = 0,58$  V),

Přesnější posouzení velikosti maximální chyby rozlišení závisí na pracovníkovi provádějícím kalibraci a jeho zkušenostech. Rozložení chyby je rovnoměrné.

Rozlišení etalonového kalibrátoru je dostatečné (1 mV) a při posuzování nejistoty ho lze zanedbat.

Střední hodnota z nejméně 4 měření (každé měření zesponu a zeshora) byla vypočtena jako  $V_S = 100,8$  V se standardní nejistotou typu A

$$u_A = 0,2 \text{ V.}$$

Chyba údaje  $E_x$  na kalibrovaném voltmetru:  $E_x = \text{naměřená} - \text{skutečná}$  (referenční)

$$E_x = (V_{iX} + \delta V_{iXROZ}) - (V_S + \delta V_S).$$

#### Přehled nejistot

Veličina $X_i$	Odhad $x_i$	Standardní nejistota $u(x_i)$	Pravděpodobnostní rozdělení	Citlivostní koeficienty $c_i$	Příspěvek k nejistotě $u_i(y)$
$V_{iX}$	100,0 V	0,012 V	normální	1,0	0,012 V
$V_S$	100,80 V	0,00085V	normální	-1,0	-0,00085 V
$\delta V_{iXROZ}$	0,58 V	0,029 V	rovnoměrné	1,0	0,029 V
$E_x =$	- 0,08 V			$u_{vX} =$	0,0314 V

Kombinovaná standardní nejistota  $u(y)$  :

$$u(y) = \sqrt{0,012^2 + (-0,00085)^2 + 0,029^2} = 0,0314 \text{ V}$$

Rozšířená nejistota  $U$  pro  $k = 2$ :

$$U = k \cdot u(E_x) = 2 \cdot 0,0314 \text{ V} = 0,0628 \text{ V} \cong 0,06 \text{ V}$$

Změřená chyba  $E_x$  údaje analogového voltmetru je na hodnotě 100 V následující :

$$E_x = (-0,08 \pm 0,06) \text{ V}$$

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k = 2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí cca 95 %. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02.

## **15 Validace**

Kalibrační metody podléhají validaci v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17025 čl. 5.4. Validační zpráva je uložena v archivu sekretariátu ČMS. Metody použité v tomto kalibračním postupu byly validovány. Doklad o validaci je uložen v České metrologické společnosti.

### **Upozornění**

Kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby její 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).



## 16 Přílohy

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

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

### *Příloha 1*

#### **Značení přístrojů Metra**

##### **Rozvaděčové přístroje s výchylkou 90°**

*Elektromagnetické přístroje, Typ Fb*

*Magnetoelektrické přístroje (s polovodičovým usměrňovačem)*

Typ Mub...,

*Magnetoelektrické přístroje pro měření stejnosměrného proudu*

typ Mb

*Magnetoelektrické přístroje pro měření stejnosměrného napětí*

typ Mb

*Ampérmetry se zobrazením maximální hodnoty*

typ BiQ/BiEQ

*Ampérmetry a voltmetry pro stejnosměrný proud s nulou uprostřed,*

typ: Mb72, Mb96

##### **Rozvaděčové přístroje s výchylkou 240°**

*Elektromagnetické přístroje,*

typ Fa96c, Fa120c

*Magnetoelektrické přístroje,*

typ : Ma72c, Ma72c-1, Ma96c, Ma96c-1, Ma120c

*Ampérmetry a voltmetry pro stejn. proud s nulou uprostřed*

typ: Ma72c, Ma96c, Ma120c

*Magnetoelektrické přístroje (s usměrňovačem)*

typ: Mua72c, Mua96c, Mua120c.

#### **historické značení přístrojů Metra**

DG - Galvanometr

DLi – Ampérmetr a Voltmetr

DSLi - Laboratorní přístroje

ELi – Ampérmetr a Voltmetr

EM - Přenosné elektromagnetické A a V metr

GLi - Ferrodynamický watmetr

KLi - Jazýčkový kmitočtoměr

KLL - Jazýčkový kmitočtoměr

Li - Laboratorní přístroje

PLi - Elektrodynamický watmetr

PsLL - Přesný Voltmetr a Ampérmetr

PsLL - Přesný watmetr

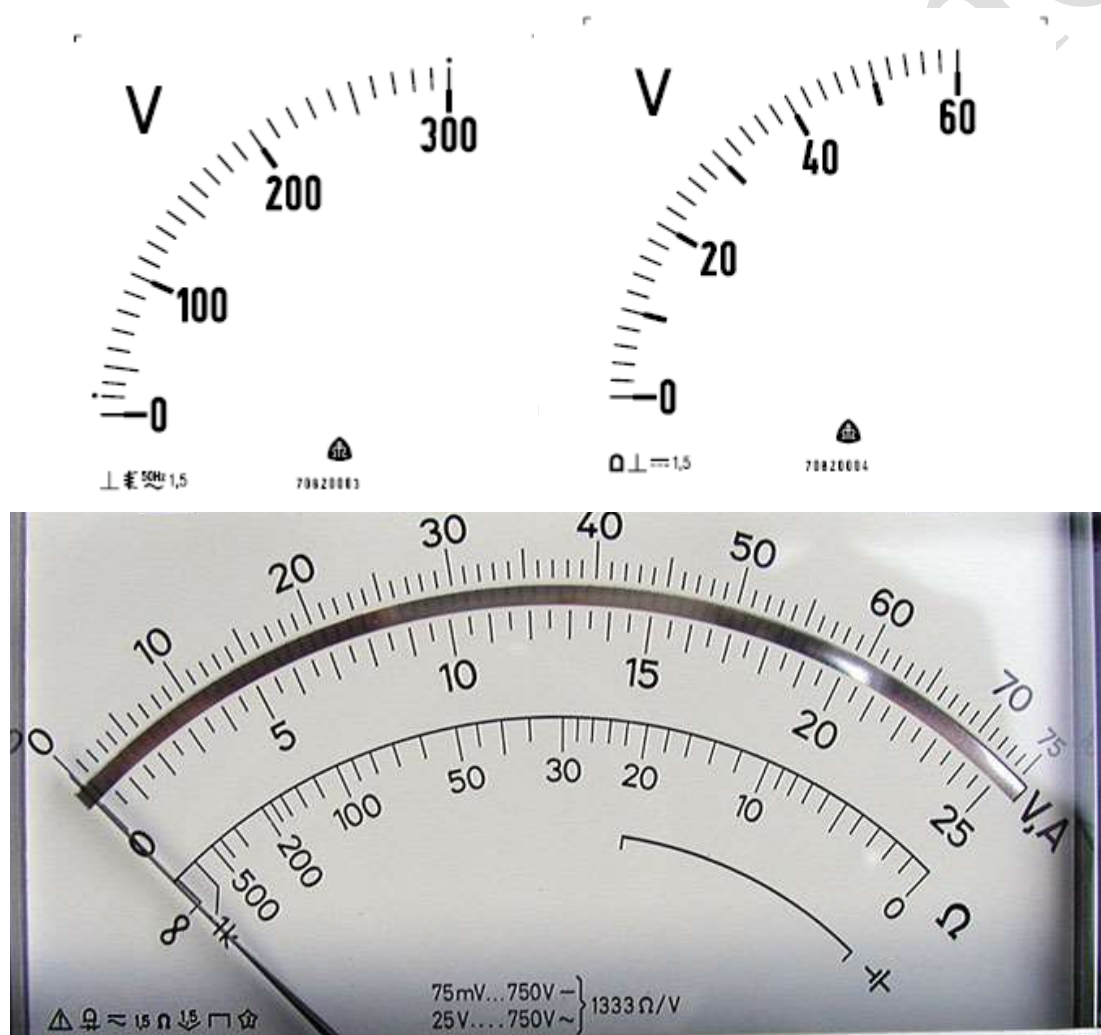
ML - Odporový most

ML20 - VA Meter

MLL - Wheatstonův most

MLLk - Wheatstonův most  
QTK - Technický kompenzátor  
RSyO - Synchronizační nástěnné ramínko  
RVO - Synchronizační nástěnné ramínko  
W100 - Wheatstonův článek  
XL – odporová dekáda (dekádový odpor)  
XLL - XL – odporová dekáda (dekádový odpor)  
XLLk - XL – odporová dekáda (dekádový odpor).

*Příloha 2*



**Obr.5:** Ukázka umístění symbolů na měřidle

### *Příloha 3*

#### ***Principy činnosti a konstrukce analogových (ručkových) přístrojů***

Pro správné provedení kalibrace je nutné znát základní principy činnosti kalibrovaných přístrojů. V minulosti existovaly pouze měřicí přístroje ručkové (elektromechanické). Protože se s nimi můžeme setkat i nyní, je nutné se zmínit o jejich základních vlastnostech.

Elektromechanické měřicí přístroje využívají k převodu měřené veličiny na měřicí informaci elektromagnetické silové účinky.

Podle použití elektromechanické přístroje dělíme:

**Rozváděčové přístroje** – jsou trvale zamontované v rozváděčích nebo na panelech. Slouží k nepřetržitému měření nebo sledování provozních stavů ve výrobě. Třídou přesnosti obvykle mají 1,5 nebo 2,5.

**Elektromechanické měřicí přístroje** dále dělíme podle provedení systému, který reaguje na měřenou veličinu na:

- Magnetoelektrické, (a magnetoelektrické s usměrňovačem a poměrové),
- elektromagnetické (feromagnetické),
- elektrodynamické,
- ferodynamické,
- indukční,
- vibrační (rezonanční).

#### ***Zařízení pro čtení výchylky***

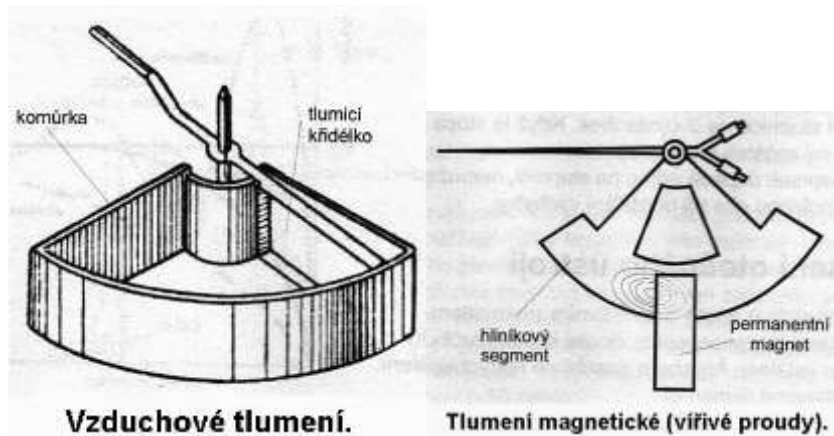
Pohyb pohyblivé části přístroje se převádí na ručku nebo přes zrcátko na paprsek promítaný na stupnici. Podle konstrukce může ručka konat pohyb otáčivý nebo posuvný. Tvar ručky je závislý na žádané přesnosti odečítání. U laboratorních přístrojů se používají ručky nožové, podložené zrcátkem pro odstranění paralaxy při odečítání.

U citlivějších přístrojů, např. u galvanoměru, se používá zrcátkového zařízení pro čtení výchylky. Převod z pohyblivého měřicího systému se neděje mechanicky, ale opticky. Obraz clonky je promítán na zrcátko, umístěné na otočné části systému, a odráží se na stupnici přístroje. Optická indikace umožňuje podstatně snížit váhu otočné části a zvětšením délky světelného paprsku lze zvětšit citlivost přístroje. Stupnice mohou být buď lineární nebo nelineární, obvykle s nulou na počátku. U galvanoměrů se používá stupnic s nulou uprostřed. Občas se setkáme i se stupnicí s potlačenou nulou. Nulu můžeme nastavit otáčením regulačního prvku podle postupu popsaného v části o kalibraci.

#### ***Tlumení ukazatele***

Po zapnutí přístroje ke zdroji proudu se ručička vychýlí z nulové polohy a ustálí se v poloze, která odpovídá velikosti měřené veličiny. Nejvhodnější pohyb ručičky je na mezi aperiodicity. Ručka se má vychýlit a bez překmitnutí ustálit na konečné výchylce. Je-li tlumení malé, ručka kmitá kolem konečné hodnoty a ustálí se teprve po delší době. Toto tlumení je pro měření nevhodné. Kromě speciálních případů se používá tlumení magnetické nebo vzduchové. U vzduchového tlumení se písteček spojený s ručkou pohybuje

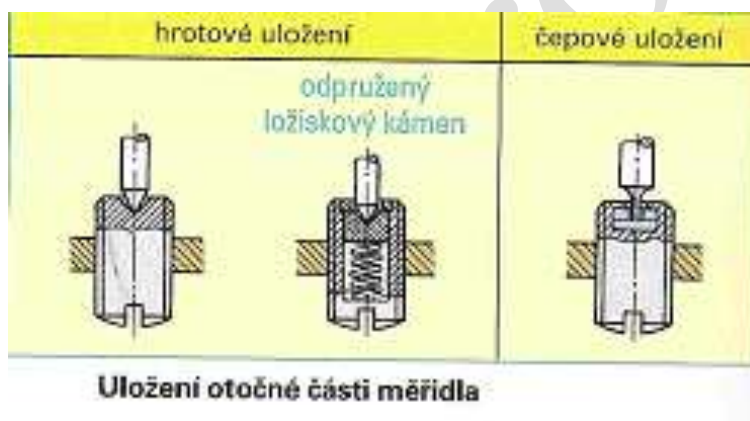
v dutině a jeho pohyb je brzděn tlakem vzduchového polštáře uvnitř dutiny. Tlumení magnetické je založeno na vzniku vířivých proudů ve vodivém segmentu spojeném s otočnou částí měřidla. Při pohybu indukované vířivé proudy svým účinkem působí proti směru otáčení ručky. Pohybová energie systému se mění v Joulovo teplo a tím je pohyb brzděn



Obr.6: tlumení

### Systemy uložení

Uložení otočných částí systémů bývalo nejčastěji hrotové. Osa měřicího systému je zakončena kuželovým ocelovým hrotem, který dosedá do ložiska, v němž se otáčí. Pro těžší systémy je vhodnější uložení čepové.



Obr.7: Ukázky uložení osiček

### Příklady hrotového uložení

Později se používalo i závěsného uložení, kdy je měřicí systém připevněn mezi dvě napjatá vlákna. Závěsné uložení odstraní pasivní odpory tření a není tak citlivé na otřesy.

Analogové přístroje jsou citlivá mechanická zařízení. Při jakékoliv manipulaci s přístroji je zapotřebí s nimi zacházet velmi šetrně. Na tom přímo závisí přesnost, s níž je možno měřit.

### Zavěšení systému na vláknech

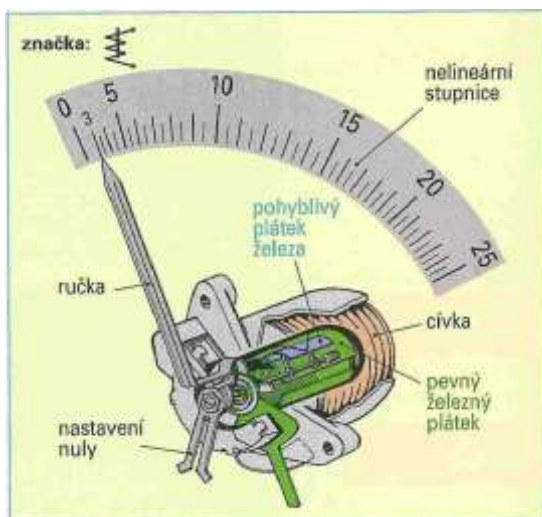
Zavěšení systému na vláknech je prostředkem pozastavení pohybující se mechanismus mezi dvěma kovovými plochými vlákny, odstraňuje potřebu pro čepy, kameny a ovládací pružiny nacházející se u běžných mechanismů. Absence tření v důsledku toho umožňuje větší citlivost a poskytuje více robustní měřidlo. Poruchy u běžných provedení zavěšení s ložisky podrobených testování na otřesy jsou popraskané ložiskové kameny a/nebo otupené otáčivé konce osek. Systém na vláknech, bez čepu a kamenů tedy bude odolávat prudkým šokům. Například, ANSI specifikace pro panelové metry vyžadují 50G šok a systémy na vláknech vydrží 100G šok.

Zavěšení s oskami a kameny jsou doporučeny pro prostředí s vyššími vibracemi z důvodu vlastní stability kterou tento mechanismus má. Přesnost a opakovatelnost jsou téměř stejná u obou zavěšení

### Princip činnosti

#### Elektromagnetické přístroje. Feromagnetické

Princip činnosti elektromagnetického měřicího systému je založen na silovém účinku magnetického pole na feromagnetické jádro, proto se tyto přístroje někdy nazývají feromagnetické. Elektromagnetické přístroje jsou jednoduché, levné a odolné proti přetížení, ale méně citlivé.



Obr.8: Princip elektromagnetického přístroje

Používají se k měření efektivní hodnoty střídavých napětí a proudů síťových kmitočtů, a to v rozsahu řádově 10 až  $10^3$  V a  $10^{-1}$  až  $10^2$  A. Změna rozsahu voltmetru se dělá předřadnými odpory, ke změně rozsahu ampérmetrů se používá změna počtu závitů odbočkami z cívky nebo rozdělením cívky do sekcí, které se přepínají do série nebo paralelně. Tyto přístroje využívají magnetických účinků elektrického proudu. Nepohyblivou cívku přístroje prochází měřený proud a jeho účinky působí na pohyblivou feromagnetickou část přístroje. Starší přístroje používaly systém s plochou cívku. Dvnitř cívky bylo silou magnetického pole vtahováno feromagnetické jádro. V dnešní době se používají nejčastěji feromagnetické přístroje s kruhovou cívku. Tyto přístroje se skládají z pevné válcové cívky na jejíž vnitřní

straně je umístěn pevný plíšek. Druhý, pohyblivý plíšek je upevněn na hřídelce otočného ústrojí uvnitř cívky. Protéká-li proud cívkou, vzniká v ní magnetické pole, kterým se oba plíšky souhlasně zmagnetují a začnou se odpuzovat. Ručka umístěná na hřídelce otočného ústrojí se začne natáčet. Proti jejímu pohybu působí direktivní moment vratné pružiny.

### ***Vlastnosti feromagnetických měřicích přístrojů.***

Výchylka přístrojů je úměrná druhé mocnině proudu protékajícího cívkou. Použití: hodí se pro měření stejnosměrných i střídavých napětí a proudů (proudy 0,1 A až 100 A, napětí do 600 V).

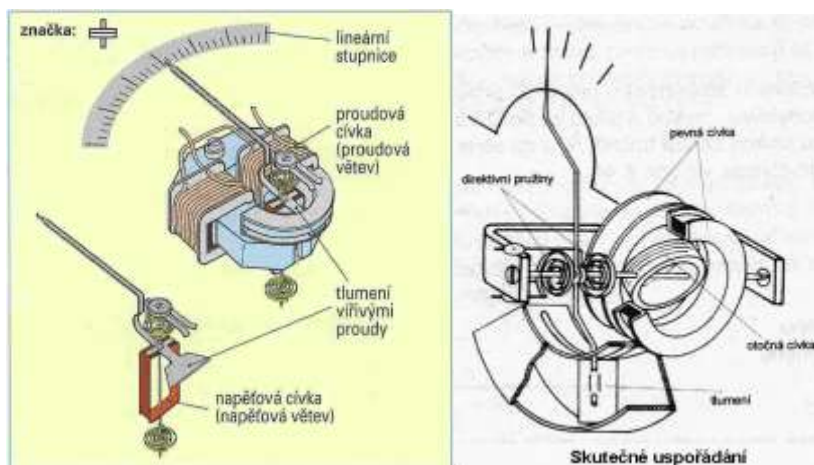
Spotřeba přístroje: mW až W.

Třída přesnosti: běžné přístroje 0,5 až 1, laboratorní přístroje 0,1 až 0,2

Kmitočet: používají se pro měření do několika set Hz.

Vliv teploty: u ampérmetrů zanedbatelný, u voltmetrů se kompenzuje.

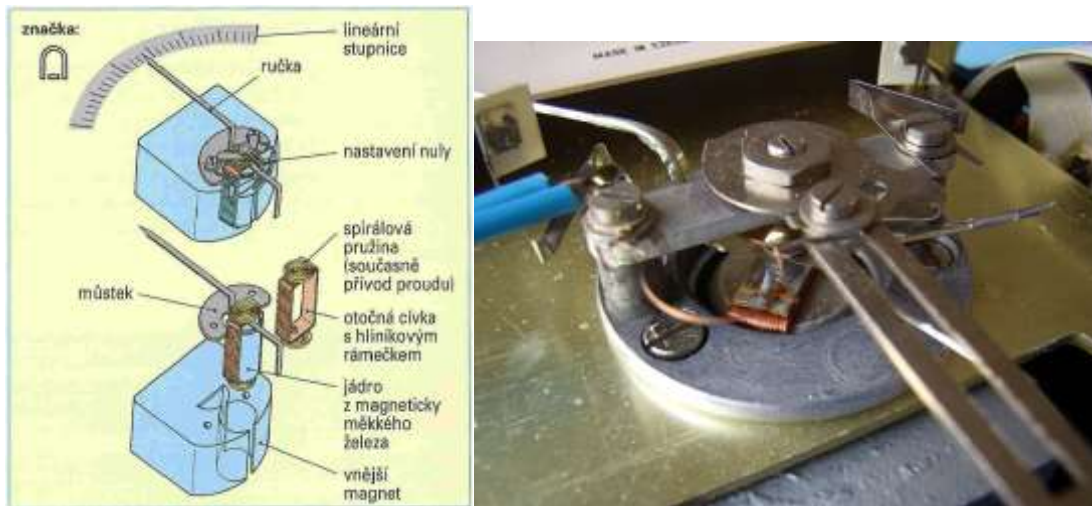
Vliv vnějších magnetických polí: přístroj má slabé vlastní magn. pole a proto je vliv cizích magn. polí velký (provádí se dvojitě magn. stínění).



**Obr.9:** feromagnetické měřicí přístroje

### ***Magnetoelektrické přístroje***

Magnetoelektrické (deprézské) přístroje jsou nejvíce rozšířené elektromechanické přístroje. Jsou citlivé. Princip přístrojů je založen na silovém účinku magnetického pole na vodič protékající elektrickým proudem, který je úměrný měřené veličině. Tyto měřicí přístroje jsou nejčastěji používány na měření stejnosměrných veličin, a to napětí v rozsahu  $10^{-3}$  až  $10^3$  V a proudu v rozsahu  $10^{-5}$  až  $10^4$  A. Po doplnění přístroje převodníkem – usměrňovačem nebo termočlánkem se používají magnetoelektrické přístroje také pro měření střídavých harmonických průběhů. Stupnice je však potom udána v efektivní hodnotě, ale přístroj s usměrňovačem měří střední hodnotu signálu. Změna rozsahů se uskutečňuje pomocí předřadných odporů. U vícerozsahových přístrojů se vhodné předřadné odpory zařazují obvykle pomocí přepínače. Změna rozsahů ampérmetrů se uskutečňuje pomocí bočníků – rezistorů paralelně připojených k přístrojům. Ampérmetrem o vnitřním odporu  $R_A$  je třeba měřit proud  $I_X$  n- krát větší než jmenovitý proud  $I_n$ . U vícerozsahových přístrojů se vhodné bočníky zařazují také často pomocí přepínače.



**Obr.10:** Princip magnetoelektrického přístroje

### *Vlastnosti magnetoelektrických přístrojů.*

Použití: pro měření stejnosměrných napětí a proudů v širokých rozsazích.

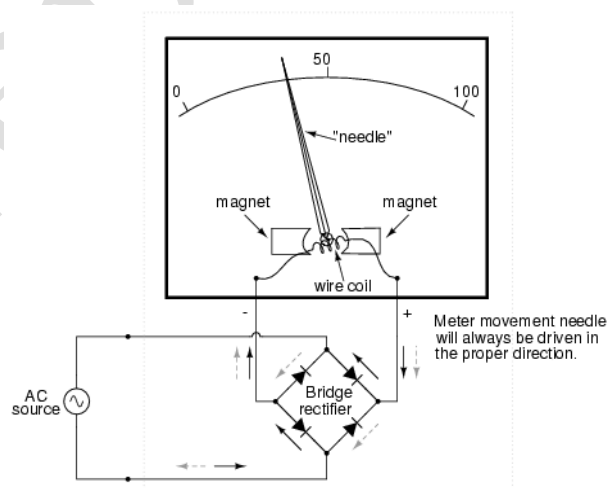
Třída přesnosti: 0,1 až 0,2.

Spotřeba přístroje:  $10^{-8}$  W až  $10^{-3}$  W.

Vnitřní odpor: 5 k $\Omega$  / V až 100 k $\Omega$  / V.

Vliv teploty: změny teploty působí na měřicí ústrojí negativně (způsobují změnu odporu cívky a změnu řídicího momentu vratných pružin).

Vliv vnějších magnetických polí: vliv těchto polí je zanedbatelný, neboť přístroj má silné vlastní magnetické pole.



**Obr.11:** Deprézské přístroje měří střídavé napětí s pomocí usměrnění a reagují proto na střední hodnotu usměrněného proudu

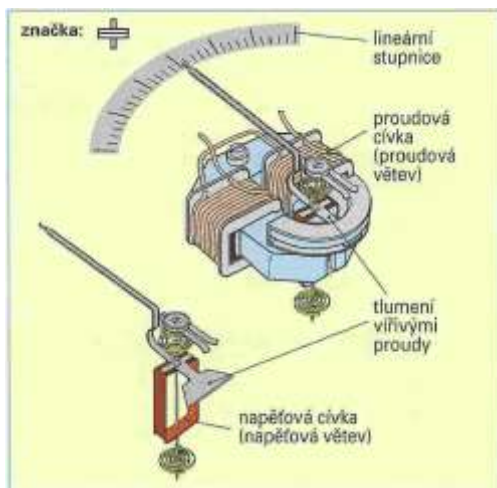
### *Magnetoelektrické přístroje s usměrňovačem.*

Abychom tyto přístroje mohly použít pro měření střídavých veličin, musíme je doplnit usměrňovačem. Obvykle se používá dvoucestný Grätzův usměrňovač. Přístroj pak měří střední hodnotu usměrněného proudu nebo napětí. Protože jsme však zvyklí používat při měření a výpočtech hodnoty efektivní, jsou všechny magnetoelektrické přístroje s usměrňovačem kalibrovány v efektivních hodnotách sinusového průběhu.

Měřený rozsah frekvence 40 Hz až 10000 Hz

### *Elektrodynamické - ferodynamické přístroje*

Princip elektrodynamických přístrojů se zakládá na vzájemném silovém působení magnetických polí dvou cívek protékaných elektrickým proudem. Na stejném principu s podobným konstrukčním provedením pracují i ferodynamické přístroje.



**Obr.12:** Princip elektrodynamického přístroje

Spojí-li se obě cívky do série, protéká jimi stejný proud a systém lze použít ke konstrukci voltmetru nebo ampérmetru se stupnicí jen přibližně kvadratickou. Elektrodynamického systému lze výhodně použít i ke konstrukci wattmetru. Připojí-li se jedna z cívek do série ke spotřebiči, takže jí protéká měřený proud spotřebiče, a druhá paralelně ke spotřebiči, kde protéká proud úměrný napětí na spotřebiči, je výchylka úměrná elektrickému výkonu, dodávanému do spotřebiče:

Přístroje je možné použít jako ampérmetry, voltmetry nebo wattmetry

Přístroje se používají pro měření střídavých i stejnosměrných veličin. Měří efektivní hodnotu proudu, napětí a výkonu. V současné době se používají hlavně jako wattmetry. Pevná cívka se nazývá proudová a pohyblivá cívka napěťová.

Třída přesnosti: dosahují třídy přesnosti až 0,1.

Vlastní spotřeba: bývá velká, až několik VA.

Vliv teploty: je malý, zvláště při dobré kompenzaci napěťového obvodu.

Vliv vnějších magnetických polí: tato pole mohou značně ovlivňovat měřicí přístroje.

( je proto nutné dobré stínění přístroje ).

Kmitočet: používají se maximálně do kmitočtu 1000 Hz.

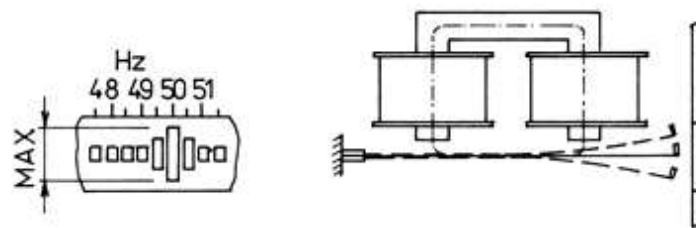


### *Indukční přístroje*

Princip indukčních systémů vychází ze vzájemného působení střídavého magnetického pole pevných cívek a vířivých proudů vyvolaných tímto polem v pohyblivém kotouči. Indukční přístroje se používají hlavně jako elektroměry. Do obvodu se elektroměry zapojují stejně jako wattmetry.

### *Vibrační (rezonanční) přístroje*

Vibrační (rezonanční) přístroje využívají mechanické rezonance pohyblivého systému s kmity měřené veličiny. Nejčastěji se používají jako jazýčkové kmitoměry pro měření kmitočtu síťového napětí.



**Obr.13:** Jazýčkový kmitoměr: stupnice a princip činnosti

### *Tepelné měřicí přístroje s bimetalem.*

#### **Princip a konstrukce přístroje.**

Základem těchto přístrojů jsou spirály z bimetalového pásu (bimetal nebo také dvojkov je pásek s dvěma vrstvami kovů, které jsou na sebe nalisovány a mají různý součinitel tepelné roztažnosti). Měřicí ústrojí má tyto spirály dvě a ty jsou navinuty na ose přístroje protisměrně. Spirálou S1 protéká měřený proud, ta je tímto proudem zahřívána a vlivem teploty se roztahuje, nebo smršťuje. Tímto pohybem se natáčí ručka přístroje. Druhá spirála S2 slouží k vyrovnání vlivu změny teploty v okolí na výchylku přístroje.

#### **Vlastnosti tepelných přístrojů.**

Přístroje se používají pouze jako ampérmetry pro měření průměrné efektivní hodnoty proudu. Mají velkou setrvačnost.

Třída přesnosti: mají malou třídu přesnosti 2, 5 až 5.

### *Elektrostatické měřicí přístroje.*

#### **Princip a konstrukce přístroje.**

Tyto přístroje využívají ke své činnosti silových účinků elektrostatického pole. Přístroj se skládá ze soustavy pevných a pohyblivých elektrod. Jestliže připojíme mezi tyto elektrody napětí, působí na sebe přitažlivou silou a pohyblivé elektrody se začnou natáčet. Proti směru pohybu otočných elektrod působí vratné pružiny, které současně slouží k přivedení napětí na otočné elektrody. Po vyrovnání pohybového a direktivního momentu se výchylka přístroje ustálí.

**Vlastnosti elektrostatických přístrojů.**

Přístroje se používají výhradně jako voltmetry pro měření střídavých a stejnosměrných napětí. Střídavé voltmetry měří efektivní hodnotu napětí. Tyto voltmetry se používají nejčastěji pro měření vyšších a vysokých napětí a to od 20 V až do 600 kV.

Třída přesnosti: pohybuje se od 1 až do 1,5.

Kmitočet: možnost použití až do kmitočtu  $10^7$  Hz.

Vliv cizích elektrických polí: tato pole mají velký vliv na přesnost přístroje.

Neprodejně

## **Příloha 4**

### **Předpisy a postupy kalibrace analogových přístrojů**

EN 60051-9 Elektrické měřicí přístroje přímopůsobící ukazovací analogové a jejich příslušenství. Část 9: Doporučené zkušební metody  
(CEI IEC 51-9 Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories Part 9: Recommended test methods)

#### **Norma ČSN EN 60051-9**

Kalibrace analogových přístrojů je popsána ČSN EN 60051-9. Elektrické měřicí přístroje přímopůsobící ukazovací analogové a jejich příslušenství Část 9: Doporučené zkušební metody.

IEC 60051 je vydána v oddělených částech podle následující struktury a pod všeobecným titulem Elektrické měřicí přístroje přímopůsobící ukazovací analogové a jejich příslušenství.

Norma má části:

- Část 1: Definice a všeobecné požadavky společné pro všechny části.
- Část 2: Zvláštní požadavky na ampérmetry a voltmetry.
- Část 3: Zvláštní požadavky na wattmetry a varmetry.
- Část 4: Zvláštní požadavky na kmitoměry.
- Část 5: Zvláštní požadavky na fázoměry, měřiče účinníku a synchronoskopy.
- Část 6: Zvláštní požadavky na ohmmetry (měřiče impedance) a měřiče vodivosti.
- Část 7: Zvláštní požadavky na vícefunkční přístroje.
- Část 8: Zvláštní požadavky na příslušenství.
- Část 9: Doporučené zkušební metody.

Norma EN 60051-1 dále definuje referenční podmínky ovlivňujících veličin a jejich tolerance pro zkoušky – viz tabulka na konci kapitoly.

Tabulka je uvedena pouze pro informaci, většina laboratoří používá vlastní podmínky, obvykle méně přísné.

Části 2 až 9 nejsou samy o sobě úplné a musí být používány společně s touto částí 1.

Tato norma se vztahuje na přímopůsobící ukazovací elektrické měřicí přístroje s analogovým zobrazením, jako jsou:

- ampérmetry a voltmetry,
- wattmetry a varmetry
- kmitoměry ukazovací a vibrační jazýčkové,
- fázoměry, měřiče účinníku a synchronoskopy,
- ohmmetry, měřiče impedance a měřiče vodivosti,
- vícefunkční přístroje výše uvedených typů.

Vztahuje se také na určitá příslušenství, používaná s těmito přístroji, jako jsou:

- bočníky,
- předřadné rezistory a impedanční součásti.

Pokud s těmito přístroji souvisí ještě jiná příslušenství, vztahuje se tato norma i na kombinaci

těchto přístrojů a příslušenství za předpokladu, že bylo provedeno nastavení pro tuto kombinaci.

Tato norma se také vztahuje na přímopůsobící ukazovací elektrický měřicí přístroj, jehož značky stupnice neodpovídají přímo elektrické vstupní veličině za předpokladu, že je vzájemný vztah mezi nimi známý.

Tato norma se také vztahuje na přístroje a příslušenství, které mají elektronické součásti ve svých měřicích a/nebo pomocných obvodech.

Tato norma se nevztahuje na přístroje pro speciální účely, pro které platí vlastní normy IEC.

Neprodejné