MĚŘICÍ METODY

1. PŘEHLED MĚŘICÍCH METOD

Metodou měření rozumíme způsob, jakým je možno měřit veličinu. Protože určitou veličinu lze často měřit různým způsobem, rozlišujeme různé měřicí metody pro měření jedné veličiny. Měřicí metoda záleží jednak na povaze samotné veličiny, dále na tom, jaké přístroje nebo zařízení máme k dispozici, a jaké máme nároky na přesnost. Metody lze kategorizovat podle různých kritérií.

Podle způsobu určení měřené veličiny se měřicí metody dělí na:
Přímé měřicí metody, kdy se výsledek měření získá odečtením údaje jediného přístroje, např. měření proudu pomocí ampérmetru.
Nepřímé měřicí metody zahrnuje označení všech ostatních metod, kdy se výsledek měření získá výpočtem hodnoty funkce jedné nebo více proměnných. Hodnoty těchto proměnných se získají pomocí přímých měřicích metod. Příkladem je určení odporu z údaje voltmetru a ampérmetru pomocí Ohmova zákona.

Metody absolutní a relativní
Absolutní metoda je taková, která poskytuje hodnotu veličiny v definovaných jednotkách, např. délku v metrech, elektrické napětí ve voltech.
Relativní metody jsou metody, které jsou založeny na porovnání hodnoty měřené veličiny s hodnotou stanovenou obvykle s vysokou přesností a tu označujeme jako etalon nebo normál veličiny. Jako srovnávací metodu lze uvést vážení na rovnoramenných vahách, kde etalonem jsou hmotnosti závaží (přesná závaží se pravidelně kontrolují). Dalším příkladem je můstková metoda pro stanovení elektrického odporu, při které je měřený odpor srovnáván s nastavitelnými odpory na přesné odporové dekádě.

Metody substituční a kompenzační
Princip **substituční metody** spočívá v porovnávání neznámé hodnoty měřené veličiny se známými hodnotami té samé veličiny. Vybere se taková hodnota veličiny, která vyvolává na měřicích přístrojích stejnou odezvu jako určovaná hodnota.
Substituční metoda je velice často užívána ve spojení s interpolačním postupem. Namísto pracného a často neproveditelného nahrazení měřené hodnoty veličiny přesně stejnou známou hodnotou (pro kterou dostáváme přesně stejnou odezvu na měřicím přístroji) raději zvolíme dvě hodnoty, kterým odpovídají na měřicím přístroji dvě výchylky, jedna větší a jedna menší, než kterou dostáváme pro měřenou hodnotu veličiny. Přesněji je tento postup popsán v odstavci 2.
Kompenzační metoda je analogická s metodou substituční s tím rozdílem, že účinek měřené veličiny vyrovnáváme (kompenzujeme) účinkem známé veličiny stejné hodnoty, ale opačného znaménka. Jako příklad můžeme uvést měření hustoty kapalin Mohrovými vážkami, kde vyrovnáváme moment síly momentem stejně velkým, ale opačného znaménka.

Metoda postupných měření
Tato metoda slouží ke zpřesnění výsledku měření a používá se v případech, kdy koncový údaj jednoho měření je počátečním údajem následujícího měření. Jako příklad lze uvést postupné odečítání času stopkami s mezičasem, například po každém kyvu kyvadla, takže výsledkem jsou narůstající hodnoty času. Naměřené hodnoty času je pak vhodné zpracovat jako lineární

funkční závislost, kde nezávisle proměnou je pořadové číslo měření a závisle proměnou odečítaný čas. Parametr lineární závislosti je v našem případu totožný s hledanou dobou kyvu kyvadla. Naměřené hodnoty se zpracují metodou MNČ (odstavec 3.8).

2. METODA LINEÁRNÍ INTERPOLACE

Při měření vycházejícím ze závislosti $y = f(x)$ se někdy setkáme s požadavkem určit hodnotu *y* veličiny *Y* ležící mezi dvěma blízkými hodnotami y_1, y_2 (odpovídajícími hodnotám x_1, x_2), které je možno měřením stanovit. Nejjednodušší početní metoda, která umožňuje určení *y*, se nazývá **metoda interpolace**. Je-li funkční závislost použitá pro stanovení hodnoty *y* lineární, mluvíme o **lineární interpolaci**.

Příklad:

Vážením na praktikantských vahách byla určena hmotnost předmětu pouze přibližně, protože poloha jazýčku vahadla při vyvážení se lišila od nulové polohy (např. o jeden dílek stupnice). Přesnější vyvážení nebylo možné (nebylo k dispozici dostatečně malé závaží, proces vyvažování by byl příliš zdlouhavý apod.). Určení správné hmotnosti předmětu se řeší početně metodou lineární interpolace ze dvou vyvážení, jednou pro polohu jazýčku vlevo, jednou vpravo od nulové polohy.

Máme-li určit hodnotu veličiny $y = y_0$ pro $x = x_0$, jestliže jsou známy pouze hodnoty y_1 pro x_1 a y_2 pro x_2, přičemž $x_1 < x_0$ a $x_2 > x_0$, postupujeme následujícím způsobem. Předpokládáme lineární závislost mezi hodnotami *y* a *x* a můžeme pro jednotlivé hodnoty y_i psát

$$\begin{aligned} y_0 &= ax_0 + b \\ y_1 &= ax_1 + b \\ y_2 &= ax_2 + b\,. \end{aligned}$$

Nyní odečteme druhou rovnici od první a od třetí a dostaneme

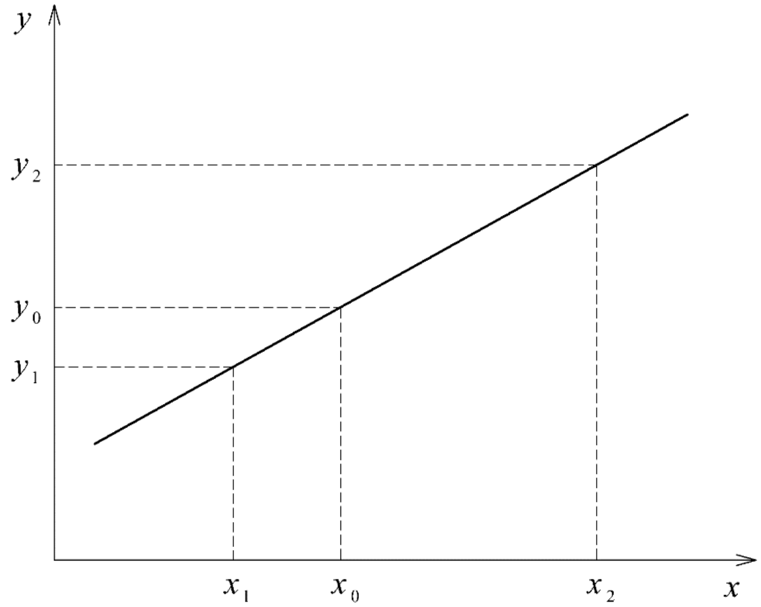
$$\begin{aligned} y_0 - y_1 &= a(x_0 - x_1) \\ y_2 - y_1 &= a(x_2 - x_1)\,. \end{aligned}$$

Z těchto dvou rovnic vyloučíme parametr *a* a vyjádříme y_0. Výsledkem je vzorec pro lineární interpolaci ve tvaru

$$y_0 = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x_0 - x_1)\ . \tag{1}$$

Ze vztahu (1) vyplývá, že v kartézské soustavě souřadnic body o souřadnicích (x_1, y_1), (x_0, y_0), (x_2, y_2) leží na jedné přímce. Interpolaci můžeme provádět také graficky. Sestrojíme graf přímky (obr. 1) určené body (x_1, y_1), (x_2, y_2) a hledáme y_0 odpovídající x_0.

Lineární interpolaci můžeme použít, jestliže závislost $y = f(x)$ je lineární, nebo interpolaci provádíme v tak malém intervalu, že i nelineární funkci můžeme s dostatečnou přesností v uvažovaném intervalu aproximovat přímkou.
Při konkrétním měření může nastat případ, kdy x_0 leží vně intervalu $\langle x_1, x_2 \rangle$. Pak se jedná o **extrapolaci**, která může být méně přesná.



Obr. 1

3. PARAMETRY MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ

Rozsah působnosti měření ve fyzikální praxi a technice je velmi široký a vzhledem k tomu mohou být měřicí přístroje klasifikovány podle rozličných hledisek. V každém konkrétním případě však můžeme klást určité obecné otázky společné pro všechna měření: jakou veličinu měříme, jaký je rozsah měřených hodnot, s jakou přesností měříme, jaká je reprodukovatelnost měření, jak vnější podmínky ovlivňují údaj přístroje, atd. Tomu pak odpovídá i klasifikace základních parametrů měřicích přístrojů a zařízení.

Měřená veličina
Veličinu, pro jejíž měření je přístroj určen, obvykle charakterizuje název přístroje, eventuálně údaje v dokumentaci připojené k přístroji výrobcem. Existují jak přístroje určené pro měření výhradně jedné veličiny, tak přístroje pro měření několika veličin (např. multimetry pro měření elektrických veličin).

Měřicí rozsahy
Údaj o rozsahu, respektive rozsazích, v nichž je přístroj schopen měřit danou veličinu, je další základní charakteristikou přístroje, kterou lze obvykle zjistit z údajů na přístrojích. Obecně lze

konstatovat, že v případě analogových měřicích přístrojů jejich přesnost klesá s velikostí rozsahu, eventuelně s možností přepínání většího počtu rozsahů. U moderních digitálních přístrojů, a to nejen v oblasti měření elektrických veličin, výrobci dosahují řádového zvýšení rozsahu při zachování přesnosti přístrojů a navíc tyto přístroje mají možnosti zvýšení komfortu měření (např. automatické přepínání rozsahů, výstupy pro zapisovače či počítače).

Citlivost přístroje

Tato veličina charakterizuje schopnost přístroje reagovat na změny měřené veličiny a je definována jako poměr

$$C = \frac{\Delta r}{\Delta x} , \tag{2}$$

kde Δr je přírůstek výchylky ukazatele přístroje a Δx je přírůstek měřené veličiny, který tuto změnu způsobil. Převrácená hodnota citlivosti se nazývá konstanta přístroje K a má význam velikosti změny měřené veličiny při změně polohy ukazatele přístroje o jeden dílek.

Rozlišení (rozlišovací schopnost)

Rozlišení je nejmenší změna měřené veličiny, která vyvolá detegovatelnou změnu údaje přístroje (např. dílek nebo polovina dílku stupnice u analogového přístroje nebo změna posledního místa displeje o jedničku u číslicových přístrojů).

Přesnost přístroje

Přesností přístroje rozumíme jeho schopnost udávat hodnotu měřené veličiny s určitou nejmenší odchylkou od skutečné hodnoty této veličiny. Problematika kvantitativního zhodnocení přesnosti měřicích přístrojů je uvedena v dokumentu *Chyby a nejistoty měření*.

Je třeba zdůraznit, že přesnost a citlivost přístrojů jsou dva naprosto odlišné pojmy, které nelze zaměňovat. Citlivost přístrojů lze např. zvyšovat za cenu zvýšení odezvy přístroje na změnu vnějších podmínek, což se ovšem projeví zhoršením reprodukovatelnosti měření, tj. zvýšením rozdílů mezi údaji přístroje při opakovaném měření veličiny téže velikosti a tím zvýšením náhodné složky chyby měření.

Kalibrační křivka

Nemá-li přístroj stupnici kalibrovanou v jednotkách veličiny, kterou chceme měřit, ale pouze v dílcích, je třeba tuto stupnici pomocí několika známých hodnot měřené veličiny okalibrovat. Mezi hodnotami veličiny a odpovídajícím počtem dílků stupnice přístroje je obvykle lineární závislost. Jestliže tuto závislost vyjádříme graficky, dostaneme kalibrační křivku. Její význam je takový, že pro libovolnou hodnotu výchylky v dílcích umožňuje určit velikost měřené veličiny.

Přístrojová křivka

V případech, kdy klademe zvýšené nároky na přesnost měření, je třeba mít jistotu, že přístroj měří správně v celém rozsahu či nezměnil svoji citlivost v porovnání s údajem výrobce. Proto hodnoty udávané přístrojem je třeba překontrolovat pomocí řady přesně známých hodnot měřené veličiny, tj. řady normálů. Závislost údajů naměřených přístrojem na známých hodnotách měřené veličiny vyjádřená graficky je přístrojová křivka.

Příklad:

Hranolovým spektroskopem určujeme neznámé vlnové délky záření emitovaného zdrojem světla. Přístroj má stupnici okalibrovanou v nanometrech. Před vlastním měřením proměříme přístrojovou křivku, tj. porovnáme naměřené hodnoty vlnových délek s tabulkovými hodnotami pro několik spektrálních čar (např. výbojek naplněných He, Hg, Ne apod.). Křivku, která je lineární, vyrovnáme MNČ. Výsledkem vyrovnání je korekční koeficient mezi naměřenými a skutečnými hodnotami vlnové délky včetně určení jeho chyby, eventuelně dva koeficienty, jestliže přímka neprochází počátkem.

V některých případech postačuje určit korekční koeficient pouze na základě měření jedné známé hodnoty. Příkladem je zjištění tohoto koeficientu pro Mohrovy vážky na základě porovnání naměřené hodnoty a tabulkové hodnoty hustoty destilované vody při známé teplotě.

Určování rovnovážné polohy

U některých typů analogových (ručkových) měřicích přístrojů se setkáváme s tím, že ukazatel (ručka, světelná značka apod.) se okamžitě neustálí, ale vykonává kmitavý pohyb okolo rovnovážné polohy *n*, kterou je třeba stanovit. Obvykle se jedná o tlumené kmity a ukazatel by se v této rovnovážné poloze po určité době zastavil. Rovnovážnou polohu lze však určit rychleji, z několika po sobě následujících výchylek kmitavého pohybu. Nejčastěji zaznamenáváme tři po sobě jdoucí krajní výchylky ukazatele a_1, a_2, a_3 (a_1 a a_3 jsou na jedné straně, a_2 na opačné straně vzhledem k hledané rovnovážné poloze).
Rovnovážnou polohu na stupnici určíme ze vztahu

$$n = \frac{1}{2}\left[a_2 + \frac{1}{2}\left(a_1 + a_3\right)\right] . \qquad (3)$$

Výchylky a_1, a_2, a_3 i rovnovážná poloha *n* mohou nabývat kladných i záporných hodnot v závislosti na volbě nuly na stupnici. Někdy je vhodné stupnici očíslovat, respektive přečíslovat tak, aby všechny výchylky byly kladné a výpočet *n* byl bez znaménkových komplikací.

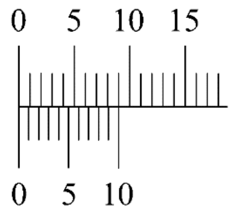
Příklad:

Vážíme na praktikantských rovnoramenných vahách, kde stupnice pod jazýčkem vah je číslovaná 0 až 20 dílků. Tři po sobě jdoucí výchylky jazýčku při nezatížených vahách jsou $a_1 = 6$, $a_2 = 14{,}5$, $a_3 = 7$. Určete rovnovážnou polohu vah (v tomto případě se jedná o nulovou polohu n_0).
Rovnovážnou polohu určíme ze vztahu (3).

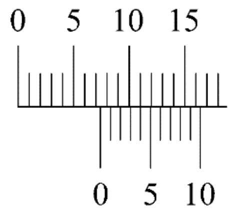
$$n_0 = \frac{1}{2}\left[14{,}5 + \frac{1}{2}\left(6+7\right)\right] = 10{,}5$$

Nulová poloha je 10,5 dílků.

Čtení na stupnici



Obr. 2 a



Obr. 2 b

Čtení na stupnici záleží na způsobu dělení stupnice. Je-li dělení velmi husté, a má-li stupnice dělicí čárky poměrně široké, odhadujeme polohu ukazatele alespoň na polovinu dílku stupnice. Jsou-li však dělicí čárky tenké proti jejich vzdálenostem, mělo by být snahou určovat polohu ukazatele na desetinu dílku stupnice. Polohu buď odhadujeme nebo v lepším případě je přístroj opatřen pomocnou stupnicí (vernier čili nonius). Pomocná stupnice je dělena na k dílků (obvykle $k = 10$), přičemž každý z nich je menší o $\frac{1}{k}$ nejmenšího dílku hlavní stupnice. Jestliže posuneme nonius tak, aby počátky obou stupnic splynuly, kryje se k–tý dílek nonia s $k-1$ dílkem hlavní stupnice (obr. 2 a). Při měření slouží okrajový (počáteční) dílek nonia jako odečítací ryska. Její poloha mezi ryskami hlavní stupnice je určena podle toho, která ryska nonia splývá s ryskou hlavní stupnice. Na obr. 2 b je ukázán příklad čtení, kdy počáteční ryska nonia je mezi 7 a 8 a čtvrtá ryska nonia splývá s ryskou hlavní stupnice. Proto čtení na stupnici je 7,4.