

MĚŘENÍ ČASU

Všechny metody měření času jsou založeny na počítání cyklů periodických dějů o známé délce periody. Tyto periodické děje jsou obvykle realizovány kmity v mechanických nebo elektrických soustavách, pro nejpřesnější měření času jsou určeny periodické děje související s vyzařováním energie z elektronových slupek atomů.

Mechanické stopky pracují na základě počítání kmitů setrvačnicku spojeného s pružinou. Kmity musí být netlumené a proto je energie ztracená třením doplňována pomocí dalšího mechanismu. Stupnice stopek bývá dělena na sekundy a desetiny sekund, často mají stopky i dělení na setiny minuty. Některé stopky umožňují průběžné odečítání času. Za tím účelem jsou vybaveny dvěma ručkami a mechanismem, který umožňuje jednu z ruček zastavovat a tak odečítat kratší časové intervaly během delšího měřicího času.

Rozlišovací schopnost mechanických stopek se pohybuje v rozmezí od 0,1 do 1,0 sekundy a nepřesnost činí 0,2 až 0,3 sekundy. Při stanovení chyb a nejistot časových intervalů je v konkrétních případech třeba uvážit, jak se na celkové nepřesnosti časového intervalu podílí nepřesnost pozorovatele. Jestliže při sepnutí stopek zároveň startujeme jiný děj (např. máme současně sepnout tlačítko a spustit stopky) je rozhodující reakční rychlost experimentátora.

Elektrické stopky odvozují měření času z periodických kmitů v rozvodné síti, tj. z frekvence 50 Hz. Nepříjemnou vlastností tohoto druhu stopek je jejich závislost na stabilitě frekvence v rozvodné síti, která je zaručena pouze na 1 %.

Elektronické stopky jsou založeny na principu čítače impulzů, které jsou odvozovány buď z elektrického oscilačního obvodu nebo z kmitů křemenného krystalu. Tento typ stopek je v současné době nejrozšířenější a nabízený sortiment je velmi široký. Kvalitu stopek určuje zejména velikost rozlišení, která se pohybuje v rozmezí dvou řádů od 0,01 do 1,0 sekundy. Také přesnost může být řádově rozdílná. Udává se buď jako absolutní veličina, např. 1 sekunda za měsíc, nebo jako veličina relativní. U komerčních výrobků je nejlepší dosažitelná přesnost 0,0006 %, tj. pro praktické účely je tato přesnost nevyužitelná.

Pro měření časových intervalů je možné použít i počítače, respektive jeho taktovací frekvence. Vhodné napět'ové impulzy přivedené přes rozhraní do počítače mohou sloužit pro spuštění a zastavení měření časového intervalu. Měření času se tak děje bez ovlivnění experimentátorem, tj. chybu pozorovatele při měření časových intervalů lze zanedbat.

Měření periody opakujících se dějů

Úkolem je stanovit délku periody pravidelně se opakujícího děje, např. doby kyvu τ kyvadla. Předpokládáme, že měření uskutečníme s pomocí stopek.

Jednorázové měření: V nejjednodušším případě změříme dobu potřebnou pro vykonání právě jednoho kyvu tak, že změříme časový interval mezi po sobě následujícími průchody středu kyvadla rovnovážnou polohou. Na chybě určení tohoto časového intervalu (doby kyvu) se podílejí: chyby pozorovatele při odečtení prvního a druhého průchodu a chyba stopek. Je zřejmé, že chyba stopek bude zanedbatelná proti celkové chybě pozorovatele. Tuto chybu a nejistotu měření bychom mohli odhadnout z rozptylu hodnot dob kyvů z opakovaných měření prováděných určitým experimentátorem. Ze zkušenosti je známo, že rozptyl činí nejméně 0,5 s. Vezmeme-li v úvahu, že doba kyvu je obvykle několik sekund, je nepřesnost neúnosně velká. Nabízí se možnost měřit nikoli dobu jednoho kyvu, ale např. 10τ (deseti kyvů). Absolutní chyba celého časového intervalu (10τ) se tím nezmenší, ovšem chyba (i nejistota) určení doby kyvu bude desetkrát menší, tj. velikost chyby bude 0,05 s. Prodlužováním měřeného časového intervalu

(zvvyšováním počtu kyvů) však nelze neomezeně zvětšovat přesnost měření, protože již nemůžeme zanedbat vlastní chybu stopek.

Opakované měření: Nedostatky jednorázového měření můžeme odstranit použitím metody opakovaných měření. Opakovaně změříme dobu jednoho kyvu, takže získáme soubor např. deseti hodnot τ_i doby kyvu. Z těchto hodnot vypočteme aritmetický průměr $\bar{\tau}$ a směrodatnou odchylku $s_{\bar{\tau}}$. Kombinovaná standardní nejistota $u_{\tau} = \sqrt{u_{\tau A}^2 + u_{\tau B}^2} \cdot u_{\tau A}$ je rovna směrodatné odchylce aritmetického průměru. Nejistotu typu B vypočteme z nepřesnosti stopek. Při dosazení do vztahu $u_{\tau} = \sqrt{u_{\tau A}^2 + u_{\tau B}^2}$ je dobré posoudit, jestli oba členy jsou řádově stejné, nebo jestli je možné jeden z nich zanedbat.

Metoda postupných měření: Dalšího zmenšení nejistoty měření můžeme dosáhnout metodou postupných měření. K měření potřebujeme dvouručkové nebo elektronické stopky, abychom mohli průběžně zaznamenávat doby průchodu kyvadla rovnovážnou polohou bez zastavování stopek. Dostaneme řadu narůstajících časů, které v závislosti na pořadovém čísle měření mají splňovat lineární závislost a můžeme je zpracovat pomocí MNČ.

Příklad:

Porovnáme měření doby kyvu kyvadla výše popsány metodami.

Jednorázové měření:

Doba kyvu $\tau = 4,11$ s byla změřena elektronickými stopkami s rozlišením 0,01 s a s chybou 0,05 s. Nejistotu výsledku u_{τ} odhadneme jako chybu pozorovatele, tj. 0,5 s a systematickou chybu stopek proto můžeme zanedbat. Výsledek zapíšeme ve tvaru

$$\tau = (4,11 \pm 0,50) \text{ s}$$

Opakované měření:

Bylo naměřeno pět po sobě jdoucích dob kyvu: 3,92; 4,18; 4,30; 3,79; 4,01. Všechny hodnoty jsou v sekundách. Aritmetický průměr z naměřených hodnot dob kyvu $\bar{\tau} = 4,04$ s a směrodatná odchylka aritmetického průměru je $s_{\bar{\tau}} = 0,091$ s, což je zároveň nejistota $u_{\tau A}$. Nejistotu typu B

určíme ze systematické chyby stopek podle vztahu $u_{\tau B} = \frac{0,05}{\sqrt{3}}$ s. Kombinovaná standardní nejistota doby kyvu je v soulase se vztahem (3.16)

$$u_{\tau} = \sqrt{u_{\tau A}^2 + u_{\tau B}^2} = \sqrt{0,091^2 + \left(\frac{0,05}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,095 \text{ s}.$$

Výsledek zapíšeme ve tvaru

$$\tau = (4,040 \pm 0,095) \text{ s}.$$

V tomto případě jsou obě složky nejistoty, A i B řádově srovnatelné, a proto ani jeden člen pod odmocninou nemůžeme zanedbat. Nejistota typu A ještě převažuje, a proto by mělo smysl zvětšit počet měření.

Postupná měření:

Hodnoty v předcházejícím případě mohly být zaznamenávány metodou postupných měření jako řada narůstajících hodnot času: 0; 3,92; 8,10; 12,40; 16,19; 20,20 s. Pomocí MNČ byla

vyhodnocena funkční závislost naměřených časů na pořadovém čísle měření a byl určen parametr a s jeho směrodatnou odchylkou o velikosti 0,0204 s. Parametr a je roven době kyvu. Nejistota je opět složením nejistot typu A, která je v tomto případě rovna směrodatné odchylce parametru a , a nejistoty typu B, jejímž zdrojem je nepřesnost stopek. Platí pro ni

$$u_{\tau} = \sqrt{u_{\tau A}^2 + u_{\tau B}^2} = \sqrt{0,02^2 + \left(\frac{0,05}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,035 \text{ s}$$

a výsledek zapíšeme ve tvaru

$$\tau = (4,056 \pm 0,035) \text{ s}.$$

Vypočtená doba kyvu je ve srovnání s předchozími výsledky zatížena nejmenší nejistotou a porovnáním výsledků zjistíme, že výsledky získané všemi třemi metodami se v mezích daných nejistotami shodují. Z posledního výsledku rovněž vyplývá, že další zvyšování počtu měření se stopkami dané přesnosti nemá smysl, protože nejistota typu B začíná převažovat.