

Měření a jeho vyhodnocení VII: metrologie času s příkladem kalibrace stopek

Článek je po statích [1] až [6] sedmou, závěrečnou částí volného seriálu příspěvků trojice autorů na vybraná témata související s měřením fyzikálních veličin, zejména elektrických, a jeho hodnocením. Je věnován metrologii času jako nejfrekventovanější z fyzikálních veličin s uvedením příkladu metodiky kalibrace stopek pro použití v kalibrační laboratoři i pro osobní použití.

V předchozích článcích [1] až [6] bylo probíráno postavení a způsob fungování systému metrologie v současné měřicí praxi. Bez celosvětově fungujícího systému metrologie by nebylo možné pořizovat si a používat měřicí přístroje bez ohledu na to, kým, kde a kdy byly vyrobeny. Vždy uživatel předpokládá, že budou správně měřit bez ohledu na to, odkud pocházejí. Výklad autoři uzavírají pojednáním o metrologii času jako fyzikální veličiny, s níž člověk přichází do styku nejčastěji, doplněným ukázkou kalibrace, kterou si může kdokoliv udělat i doma. Jde o kontrolu přesnosti při měření času v běžné praxi kalibrací stopek nebo časovačů. Příklad je vybrán z oboru času proto, že s potřebou přesně znát a měřit čas se setkává každý z nás.

Čas

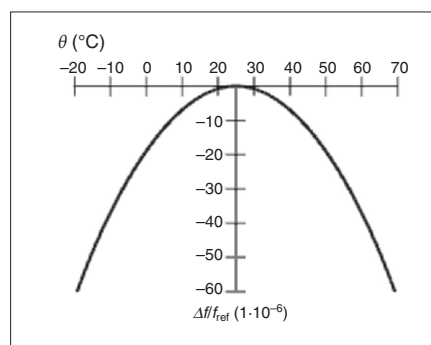
Čas je fyzikální veličina, kterou lidstvo zná a zajímá se o ni od nepaměti. Čas, dělený na hodiny a minuty, je znám od dob starého Babylonu.

Měření času člověka zcela obklopuje. Každý má doma hodiny, hodinky, náramkové nebo i na mobilním telefonu, důležitý je údaj času v osobním počítači, čas se měří ve sportu, ale zejména v nesčetných operacích v průmyslu, informatice, komunikacích, bankovníctví, měří se doba telefonních hovorů, doba placeného parkování, jízdenky v hromadné dopravě platí po určitou dobu atd. Přesný čas je pojem velmi relativní, a co je přesné pro kuchaře (kuchyňská minutka), určitě není přesné pro metrologa nebo astronoma (atomové hodiny). Z obrovského rozsahu problematiky definice a pochopení toho, co je čas a jaké problémy provázejí jeho měření, je dále vybráno především to, co se týká běžného života.

Měření času a jeho jednotnost

V bibli pod pojmem *jitro* bylo rozuměno celé období od východu planety Venuše (Jitřenky) až do poledne, pojmem *večer* byl míněn časový úsek od poledne do východu hvězd (viz Genesis 1:5 Světlo nazval Bůh dnem a tmu nazval nocí. Byl večer a bylo jitro, den první.). Hodina byla původně definována starověkými civilizacemi (včetně tako-

vých jako Egypt, Sumer, Čína a Indie) jako jedna dvanáctina doby mezi východem a západem Slunce. Většinou byl čas měřen od rozbřesku, ale v tzv. italském čase začínala první hodina navečer (nebo na konci šera, tj. půl hodiny po západu Slunce, v závislosti na místních zvyklostech). Středověký islámský den začínal také se západem Slunce. Pokusy o zavedení dekadického dělení při měření času, konané v době zavádění metrické soustavy ve Francii, se neujaly.



Obr. 1. Typická teplotní závislost krystalových oscilátorů s referenční frekvencí $f_{ref} = 32\,768\text{ Hz}$ pro hodinky a stopek; θ – teplota, Δf (Hz) – odchylka aktuální frekvence f od f_{ref}

Metrologie času řeší dvě základní úlohy. První je měření času události vzhledem k časové stupnici UTC, druhou je měření časového intervalu (doby) mezi dvěma událostmi (jednotkou je v soustavě jednotek SI *sekunda*). Měření frekvence je úloha duální k měření časového intervalu. V metrologických laboratořích elektrických veličin je často třeba měřit frekvenci, a to ve velmi širokém rozmezí hodnot. Historie vývoje a výroby hodinek a stopek trvá přibližně od roku 1500 (viz vložený text).

Stopek

Stopek jsou v principu buď mechanické, nebo elektronické (digitální).

Mechanické stopek obsahují mechanický hodinový stroj v uspořádání umožňujícím zobrazení času na ciferníku stisknutím tlačítka spustit a zastavit. Obvykle jsou ukázkou krásné hodinářské práce, ale v současnosti už patří do muzea. Jejich použití k přesnému měření času v atletice je již zakázáno.

Digitální stopek obsahují krystalový oscilátor, který u převážné většiny stopek kmitá na frekvenci 32 768 Hz (tj. 2^{15} Hz). Přesnost stopek je ovlivněna vlastnostmi krystalu, zejména závislostí jeho vlastní frekvence na teplotě. Nastavení bodu obratu na 25 °C znamená, že pro vyšší i pro nižší teploty frekvence krystalu klesá, tj. hodiny se opožďují (obr. 1).

Výrobci při specifikaci vlastností stopek obvykle šetří údaji. Běžně je udáváno jen rozlišení displeje, které je 0,001, 0,01 nebo 0,1 s, popř. i 1 s. Rozlišení displeje je často zaměňováno s přesností stopek. Odchylka frekvence referenčního oscilátoru je udána jen u některých dražších stopek a údaj o její časové stabilitě obvykle chybí nebo je udán jen pro kratší dobu, např. jeden měsíc. Skutečnost je proto nutné určit kalibrací. Digitální stopek jsou mimořádně lineární zařízení. Kalibrace v jednom bodě proto postačí. Kontrolována je jen přesnost vlastní frekvence referenčního oscilátoru.

Pojem reakční doby

Při kalibraci je třeba stopky tlačítkem spustit a na konci měření zase zastavit. V tom je hlavní problém kalibrace, protože každý člověk má nějak „dlouhé vedení“, takže od přijetí podnětu do spuštění/zastavení stopek uplyne určitý časový interval, tzv. reakční doba (doba reakce). Ta se více uplatní při spínání stopek podle etalonových hodin a potlačena je při spínání kalibrovaného a referenčního etalonového měřiče současně. Odstranit ji lze fotometodou s využitím citlivého a rychlého digitálního fotoaparátu.

Nejjednodušeji vzato je *reakční doba čas*, který uplyne od počátku vnímání podnětu do počátku vykonávání odezvy na tento podnět. Ověřit si orientačně reakční dobu lze na spuštění internetových měřičů, milé je např. provedení tohoto testu se zastavováním prchajících oveček na www.bbc.co.uk/science/humanbody/sleep/sheep/reaction_version5.swf.

Doba odezvy je součtem reakční doby v nervové soustavě a doby potřebné k vykonání pohybu. Je-li od pozorovatele vyžadována reakce jen na přítomnost podnětu, mluví se o tzv. jednoduché reakční době. Například může být subjekt vyzván ke stisknutí tlačítka stopek, jakmile se objeví světelné nebo zvukové znamení. Průměrná jednoduchá reakční doba odpočatých vysokoškolských studentů je asi 160 ms při sluchovém a asi 190 ms při vizuálním podnětu.

Bylo dokázáno, že kolísavá momentální úroveň pozornosti člověka vnáší do individuální reakční doby značně velkou variabil-

ní složku, která nemá tendenci sledovat normální (Gaussovo) rozdělení.

Při kalibraci lze proto pokládat za vhodnější volit horní mez rozsahu reakční doby a obdélkové rozdělení pravděpodobnosti.

Při kalibraci záleží vliv reakční doby na druhu kalibrace:

- při kalibraci stopek podle etalonových hodin, které člověk sleduje, lze předvídat okamžik dosažení zvoleného času spuštění/zastavení stopek a reakční doba může být i záporná,
- při kalibraci stopek podle etalonových hodin, které člověk průběžně nesleduje (např. až zazní zvuk), je doba reakce delší,
- při kalibraci stopek proti přesnějším stopkám současným spínáním obou stopek jsou dosažitelné reakční doby kratší a jsou dány především rozdíly mezi spínači a reakcí měřidel.

Návaznost času v běžném životě

K šíření etalonových časových signálů jsou využívány všechny možné a dostupné způsoby. Jsou to např. vysokofrekvenční rádiové a televizní vysílání, satelitní vysílání, speciální rádiové vysílání v oblasti velmi dlouhých vln (vysílač DCF77 v Mainflingenu u Frankfurtu nad Mohanem, Německo, vysílající na frekvenci 77,5 kHz, ve Skotsku vysílač Anthorn 60 kHz a jinde po světě mnoho dalších vysílačů), systémy typu Loran-C (*Long Range Navigation*), družicové radionavigační systémy jako GPS (*Global Positioning System*, USA), Galileo v EU, ruský Glonass (*Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema*), BeiDou v Číně, IRNSS (*Indian Regional Navigation Satellite System*) v Indii a také internet.

Téměř každá domácnost u nás má v současné době velmi kvalitní návaznost v oblasti času. Je to dáno nízkou cenou a velkým rozšířením hodin řízených rádiovým signálem DCF77 a v současnosti už dosti běžným kvalitním připojením k internetu.

Rádiové vysílání etalonových časových signálů (DCF77)

Ačkoliv dříve v ČR fungovaly vlastní systémy pro vysílání přesného času, počínaje systémem z roku 1955 s vysílačem vysílajícím na frekvenci 2,5 MHz a konče systémem OMA 50 na frekvenci 50 kHz, tyto vysílače nebyly masově využívány, protože v té době nebylo možné sestavit dostatečně levný a malý přijímač k vestavění do hodin. Proto byl poslední český systém OMA 50 z finančních důvodů v roce 1995 vypnut.

Základní platformou pro vysílání času vzduchem se v Evropě stal německý systém DCF77, který začal vysílat v roce 1970 a funguje dodnes. Jde o poslední funkční systém vysílající čas na dlouhých vlnách na evropském kontinentu. Jelikož je hojně využíván v komerční sféře, má stále své uplatnění a bude patrně v provozu ještě mnoho let. Při-

Vybrané mezníky historie vývoje a výroby hodinek a stopek

- 1502 – Peter Henlein staví první kapesní hodinky.
- 1881 – Švýcarsko vyrábí asi 1,5 milionu hodinek kapesního formátu.
- 1917 – Švýcarský vývoz představuje 17 000 000 hodinek ročně.
- 1928 – Byly postaveny první křemenné krystalové oscilátory pro hodiny.
- 1930 – Podíl náramkových a kapesních hodinek na trhu je 50 : 50.
- 1961 – Švýcarsko vyváží celkem 126 344 492 hodin, hodinek a hodinových strojků.
- 1966 – Vznikl první prototyp náramkových hodinek řízených krystalovým oscilátorem.
- 1983 – V Evropě jsou zavedeny hodiny řízené rádiem (později také v USA).
- 1994 – Poprvé v historii je vyrobena více než miliarda hodin, hodinek a hodinových strojků, z nichž je asi 80 % elektronických.

blíže od roku 2007 obsahuje signál DCF77 také informaci o předpovědi počasí pro 60 regionů v Evropě (na ČR připadají tři regiony). Tuto informaci využívá množství domácích meteorologických stanic, které jsou běžně na trhu. Přijímače signálu DCF77 jsou stále levnější, a tak je postupně upouštěno od budování speciálních časových sítí v budovách.

Signál z vysílače DCF77 se šíří rychlostí světla, takže k nám dorazí za asi 1,5 ms. Hodiny na přijímací straně nejsou navázány stále, avšak synchronizují se jen jednou (nej-

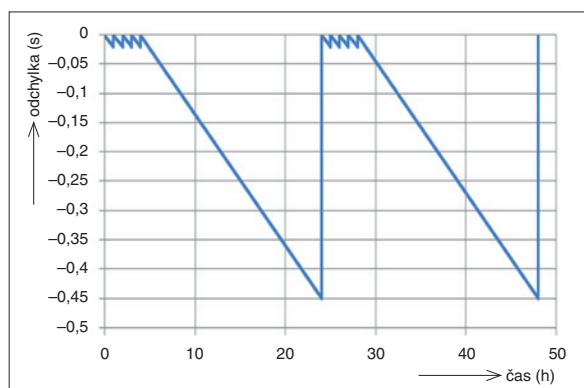
sob, jakým je synchronizován vzhledem ke světovému univerzálnímu koordinovanému času UTC (*Coordinated Universal Time*). Převážná většina časových serverů získává informaci o čase z dalších serverů a pouze tzv. primární časové servery tuto informaci získávají z měřicích etalonů navázaných přímo na UTC.

K synchronizování vnitřních hodin v počítači se používá síťový protokol pro synchronizaci času NTP (*Network Time Protocol*). Aby mohl být čas v počítači přesný, resp. synchronizovaný se státním etalonem času, musí být na počítači nainstalován klient NTP a počítač musí být připojen do sítě, kde se vyskytuje server NTP (např. síť Internet). Zjednodušeně jde o to, že server NTP předává klientům NTP informaci o přesném čase.

Každý klientský počítač se zavedenou úplnou specifikací protokolu NTP se zároveň stává serverem NTP, a může tedy svůj čas šířit dalším klientům. Server NTP má přiděleno číslo z intervalu 1 až 15, nazývané *stratum*.

Jestliže je počítač připojen k internetu, může si jednoduše nastavovat vnitřní čas podle některého serveru s přesným časem zcela automaticky. Pro tento účel existují starší protokol *Time* a novější protokoly, již zmíněný NTP a jeho jednodušší forma SNTP (*Simple Network Time Protocol*).

Přesnost synchronizace času při použití protokolu Time není velká, asi 1 s. Operační systém Windows XP navazuje vnitřní hodiny v počítači na časový server jedenkrát týdně, je-li počítač v té době zapnut, nicméně má přednastaveny vzdálené servery, které u nás nejsou optimální (tab. 1). Velkým nedostatkem je, že vnitřní hodiny jsou synchronizovány v určený časový okamžik jen jednou za týden (počítáno od času poslední synchronizace). Jestliže v tento čas bude počítač zrovna vypnut nebo se mu nezdaří připojit se k časovému serveru, synchronizace neproběhne. Hodiny v počítači je však možné synchronizovat ručně stiskem tlačítka *Aktualizovat* v okně, které se ukáže po poklepání na hodiny na pracovní ploše.



Obr. 2. Přesnost rádiově řízených hodin: typický drift hodin řízených signálem DCF77

méně, popř. i častěji) za 24 h. Systém DCF77 umožňuje synchronizovat přijímající hodiny dvěma způsoby, přičemž většina běžných komerčních hodin používá levnější, ale méně přesný způsob navázání. Vlastní synchronizace má nejistotu jen asi 15 μ s, vyhodnocení a určení správného okamžiku synchronizace však může být provázáno nejistotou řádu jednotek milisekund. *Hlavním zdrojem odchylky v určení času je drift frekvence krystalu hodin řízených signálem DCF77 v době mezi navázáními* (během kterých se na displeji hodin objeví symbol vysílače). V důsledku tohoto driftu může u méně často navazujících se hodin vzniknout odchylka v zobrazeném čase až asi do 0,5 s (obr. 2). Tato odchylka je dočasná a při následujícím navázání je odstraněna.

Internet a časový server

Časový server je zařízení umožňující poskytovat informaci o čase v síti Internet. Důležitou vlastností časového serveru je způ-

Tab. 1. Experimentální kontrola zpoždění přenosu času v síti Internet (měřeno v Brně v pracovní den dopoledne při použití programu SP Time Sync, přípojka k internetu kabelová UPC; vzdálenější servery program odmítá sám)

Země	Server <i>stratum 2</i>	Zpoždění v Brně (s)
ČR	time.ufe.cz	0,015
	time.web-systems.ws	0,015
	ntp.ujf.cas.cz	0,015 až 0,030
	ntp.cgi.cz	0,015
Rakousko	ntp.inode.at	0,015 až 0,030
	ntp.wien.diakoniewerk.at	0,015
Polsko	ntp.stream.pl	0,060
Slovensko	ntp.blava.net	0,020 až 0,030
Velká Británie	ntp3.tcpd.net	0,140
Švýcarsko	ntp.metas.ch	0,030 až 0,040

Naopak protokol NTP umožňuje udržovat systémový čas v počítači s přesností na desetiny milisekundy. Proto jej také časové servery v internetu používají k synchronizaci s globálním jednotným časem UTC. Dosažitelná přesnost seřízení hodin v počítači závisí i na operačním systému. Pro operační systém Windows NT2000/XP je udávána přesnost synchronizace ± 5 ms.

V jiných operačních systémech (např. v systému Linux) je nejjednodušší využít program *ntpd*, který funguje i jako klient a nejen synchronizuje systémový čas vzhledem k serveru NTP, ale i automaticky koriguje odchylku frekvence krystalového oscilátoru, od kterého je systémový čas odvozen. Dosažitelná dlouhodobá přesnost hodin tak může být v řádu stovek nebo i desítek mikrosekund v závislosti na kolísání teploty oscilátoru a např. funkce obvodů pro dynamické řízení požadavků hardwaru na dodávku energie. Přesnost hodin bude tedy větší u serverů a stolních počítačů než u notebooků.

Shrnutí ohledně zdrojů přesného času

Pro běžnou praxi kalibrace ručně spínaných stopek a časovačů je k dispozici několik zdrojů signálů přesného času s těmito vlastnostmi:

- *rozhlas*: obvykle není dostupný údaj o přesnosti časového údaje ani o návaznosti; jako etalon ke kalibraci proto není vhodný,
- *telefon*: obvykle není dostupný údaj o přesnosti ani o návaznosti, proto není vhodný jako etalon ke kalibraci, není k dispozici údaj o zpoždění cestou; v některých zemích v zahraničí tyto údaje jsou, a je proto použitelný, někde zůstává i velmi oblíbený (Austrálie, Nový Zéland, USA, Velká Británie, Švédsko),
- *systém DCF77*: obvykle není dostupný údaj o přesnosti navázání použitého přijímače, proto je vhodný jako etalon ke kalibraci jen po validaci vlastností pro konkrétní přijímač (přesnost a interval navázání na signál DCF77),
- *GPS*: levné přijímače GPS jsou obvykle konstruovány především pro určení polo-

hy, proto bez validace není vhodný jako etalon času ke kalibraci,

- *internet*: s použitím vhodného programu, např. SP TimeSync nebo Dimension 4, popř. dalších speciálních programů metrologických institutů, je dostupný údaj o přesnosti, návaznosti i zpoždění při přenosu časového signálu; pro běžnou praxi kalibrace ručně spínaných stopek a časovačů je proto vhodný; důležitá je i skutečnost, že vliv reakční doby při spínání stopek je podstatně větší než nejistota vlivem přenosu etalonového časového signálu internetem.

Nejistota kalibrace stopek

Při kalibraci stopek podle etalonových hodin, které kalibrující nesleduje, lze předvídat okamžik sepnutí a reakční doba může být i záporná. Je-li postupováno podle etalonových hodin, které nejsou průběžně sledovány (např. jde o řízení zvukovým signálem), reakční doba je delší. Při kalibraci nezáleží na délce doby odezvy, jestliže je při spouštění i zastavování stopek stejná – v praxi bývá do 300 ms. Záleží ale na jejím rozptylu.

Při kalibraci stopek proti přesnějším stopkám, současným spínáním obou stopek, jsou dosažitelné rozdíly dob odezvy menší (závisí především na rozdílu mezi reakčními dobami měřidel). Nejistota měření je zde menší než 100 ms.

Doba odezvy při spínání stopek v praxi nezávisí na době trvání měření (délce měřeného časového intervalu). S uvážením nejistoty vlivem doby odezvy (jako doby potřebné ke spuštění/zastavení stopek) závisí relativní přesnost měření především na době trvání měření, a je proto vhodné měřit co nejdéle. Obvykle je pro digitální stopky volena doba měření 10 h nebo jeden den (24 h), pro analogové jeden čas blízký k rozsahu stupnice velké ručičky a druhý pro plný rozsah stupnice malé ručičky stopek.

Metodika kalibrace stopek – příklad

Dále uvedený příklad ukazuje způsob využití zásad uvedených v předchozích článkách v praxi při kalibraci stopek. Postup je

popsán z pohledu činnosti kalibrační laboratoře, v principu ho však ve svém individuálním osobním či profesním životě může použít téměř každý.

Účel, rozsah a platnost metodiky

Následující metodika je určena k použití při kalibraci stopek. Popisuje způsob metrologické kontroly (kalibrace časové základny) stopek s mechanickým spouštěním a zastavováním funkce a s rozlišením až do 0,001. Je určena k použití při kalibraci v běžném prostředí kanceláře nebo domácnosti při teplotě ovzduší 18 až 28 °C.

Měřenou veličinou je časový interval v rozsahu 10 až 100 000 s.

Platnost uvedené metodiky není časově omezena.

Princip kalibrace

Chyba časové základny stopek se stanovuje na základě měření etalonového časového intervalu. Etalonový čas se zobrazuje na počítači připojeném k internetu při použití signálu odvozeného od státního etalonu času ČR nebo jiného serveru *stratum 1*. K synchronizaci hodin v počítači musí být použit vhodný program – doporučován je program SP TimeSync, který má pro nekomerční použití charakter freewaru.

Metrologická návaznost

Metrologická návaznost je zajištěna na státní etalon času ČR prostřednictvím přenosu etalonového údaje času po síti Internet.

Etalon času ČR zajišťuje Laboratoř státního etalonu času a frekvence (přidružená laboratoř ČMI) se sídlem na adrese Ústav fotoniky a elektroniky (ÚFE), Akademie věd ČR, v. o. s., Chaberská 57, 182 51 Praha 8 – Kobylisy, Česká republika.

Distribuce místního Pražského koordinovaného času – *UTC Tempus Pragense* – krátce UTC(TP), je služba pro veřejnost. Přesný čas UTC(TP) je nepřetržitě šířen v síti Internet protokolem NTP při použití časového serveru TimeCZ (adresa URL je time.ufe.cz, novější ntp2ufe.cz), přímo navázaného na UTC(TP), tedy na národní časovou stupnici, vytvářenou v ÚFE Akademie věd ČR.

Program SP TimeSync

Při kalibraci je v tomto příkladu metodiky použit program SP TimeSync stažený z www.spdialer.com/timesync/, neboť minimálně zatěžuje počítač a přehledně poskytuje všechny podstatné informace o čase i o stavu připojení k časovému serveru (*obr. 3*).

Zadaná adresa URL časového serveru TimeCZ je *time.ufe.cz*. Jako doporučená perioda dotazu na čas a synchronizace hodin v počítači v klientském programu je 1 h, při kalibraci stopek postačí načíst čas z interne-

tu a synchronizovat hodiny v počítači vždy znovu před měřením. Jen pro kalibraci s použitím krátkých časových intervalů je na přechodnou dobu volena perioda dotazu krátká.

Podmínky při kalibraci

- Kalibrace se provádí za těchto podmínek:
 - jmenovitá teplota prostředí 23 ± 5 °C měřená teploměrem s měřicím rozsahem 0 až 50 °C a přesností ± 2 K,
 - doba od spuštění a synchronizace počítače a zapnutí (zahájení temperování) stopky (jejich řídicího krystalu) do začátku měření (kalibrace) je minimálně 10 min.

Kontrola funkce

Při kontrole funkce je prověřováno, zda stopky, které je třeba kalibrovat, nejsou poškozeny takovým způsobem, který by omezoval jejich použití pro daný účel. Při kalibraci v laboratoři jsou kontrolovány zejména tyto údaje:

- výrobce, typ, výrobní, popř. také inventární číslo měřidla,
- funkce nulování,
- vizuálně celkový vnější stav stopky, zejména s ohledem na možné mechanické poškození (např. deformace pouzdra, upevnění hodinového strojku v pouzdře bez vůlí, poškození displeje, nefunkční spouštěcí mechanismus, viditelnost všech segmentů displeje, popř. čitelnost dílků a číslic na stupnici, atd.),
- funkceschopnost (technický stav) stopky, kdy jsou ručně opakovaně, nejméně třikrát, zkontrolovány všechny funkce stopky; mechanismus stopky musí pracovat bezchybně a funkčně správně pro daný typ stopky.

Kalibrace

Princip kalibrace spočívá v porovnání časového intervalu zvolené délky stanoveného při použití etalonového času v počítači s časovým intervalem zobrazeným na kalibrovaných stopkách.

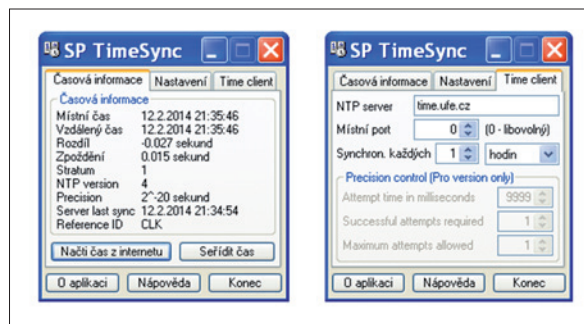
Etalonový čas se odečítá na displeji počítače ze zobrazení programem (*pozn.*: přitom je třeba sledovat zpoždění při přenosu v síti, což program SP TimeSync umožňuje, a jestliže toto přesáhne 0,1 s je lépe zvolit jiný server nebo jinou dobu trvání kalibrace).

Doba kalibrace

Nejistota při měření časového intervalu stopkami je převážně dána reakční dobou při ručním spínání stopky. Její hodnota nezávisí na délce měřeného intervalu a je obvykle menší než 0,3 s (viz shora). Vliv této nejistoty je tedy tím menší, čím delší je měřený časový interval (doba kalibrace). Při kalibraci stopky je tudíž vhodné použít co nejdelší časový interval – jestliže to stopky umožní, je doporučován asi 24 h.

Postup při vlastní kalibraci je:

- příprava na kalibraci: první den v určitý čas (podle volby, např. v pondělí v 11:00) před vlastním měřením je s použitím programu SP TimeSync načten etalonový čas z internetu a tím jsou synchronizovány vnitřní hodiny v počítači,
- v okamžiku, kdy hodiny v okně programu SP TimeSync ukážou čas zvolený jako začátek měření, je třeba spustit stopky,



Obr. 3. Ukázka oken programu SP TimeSync

- před časem zvoleným jako konec měření (asi za 24 h, tedy např. v úterý dopoledne) s použitím programu SP TimeSync kalibrující opět načte etalonový čas z internetu (znovu synchronizuje hodiny v počítači), a jakmile se v okně programu SP TimeSync zobrazí čas předem zvolený jako konec měření, stopky zastaví (jsou-li kalibrovány nikoliv jen jedny, ale hromadně větší počet stopky současně, spouští je a zastavuje v časech následujících se zvolenou prodlevou, např. po 1 min),
- porovnáním délky časového intervalu podle údajů hodin z počítače (programu SP SyncTime) s údajem naměřeným stopkami je zjištěna chyba stopky za danou dobu měření.

Výsledek kalibrace

Jako výsledek kalibrace stopky je běžně uváděna *naměřená chyba vztahovaná na zvolený časový interval* (podle použití obvykle *pro digitální stopky jeden den, tj. 24 h, nebo pro analogové stopky 1 h*). Tedy údaj, o kolik se stopky za danou dobu předběhnou nebo zpozdí.

Je-li kalibrace zadána k provedení v kalibrační laboratoři, dostane zákazník výsledek kalibrace zapsaný v kalibračním listu. Co všechno musí kalibrační list obsahovat, je podrobně popsáno v normě ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 [7]. V daném kontextu je důležité především to, že laboratoř do kalibračního listu zaznamená *naměřenou chybu přepočtenou na zvolený časový interval (24 h nebo 1 h, tj. opět údaj, o kolik se stopky za danou dobu předběhnou nebo zpozdí)*.

Dále je na uživateli, aby si známou chybu stopky (zjištěnou jeho vlastním úsilím nebo v kalibrační laboratoři) přepočítal na dobu měření, které provádí, a posoudil, zda chyba stopky je pro danou dobu měření významná.

Při kratších měřených časových intervalech bývá chyba samotných stopky oproti nejistotě vlivem reakční doby obsluhy obvykle zanedbatelná. Není-li tomu tak, je podle naměřené chyby stopky při kalibraci třeba při měření používat odpovídající korekci.

Například je-li vyhovující, aby chyba vlivem nepřesnosti referenčního oscilátoru stopky byla menší než 0,1 s při délce měřeného časového intervalu 5 min, nesmí být chyba naměřená za 24 h větší než 29 s.

Závěr

Návaznou kalibraci stopky a ostatních časoměrných zařízení lze v současné době provést téměř kdekoli a s téměř nulovými náklady. K dosažení malé nejistoty je zapotřebí volit co nejdelší dobu kalibrace (levné stopky s rozlišením 0,01 s obvykle umožňují měřit do 48 h, drahé s rozli-

šením 0,001 s až do 100 h. Účelem kalibrace stopky je stanovit, zda se při měření může uplatnit odchylka frekvence referenčního oscilátoru stopky. Hlavním výsledkem kalibrace stopky je proto konstatování, že se stopky systematicky pozdí nebo předbíhají, spolu s uvedením odchylky doby naměřené stopkami od etalonu času, přepočtené na zvolený časový interval (zpravidla hodinu nebo den).

Literatura:

- [1] HORSKÝ, J. – HORSKÝ, P. – HORSKÁ, J.: *Měření a jeho vyhodnocení I: historický přehled*. Automa, 2014, roč. 20, č. 11, s. 45–47.
- [2] HORSKÝ, J. – HORSKÝ, P. – HORSKÁ, J.: *Měření a jeho vyhodnocení II: organizace metrologie*. Automa, 2014, roč. 20, č. 12, s. 44–46.
- [3] HORSKÝ, J. – HORSKÝ, P. – HORSKÁ, J.: *Měření a jeho vyhodnocení III: metrologický řád organizace*. Automa, 2015, roč. 21, č. 1, s. 32–35.
- [4] HORSKÝ, J. – HORSKÝ, P. – HORSKÁ, J.: *Měření a jeho vyhodnocení IV: výsledek měření, chyby, nejistoty, specifikace*. Automa, 2015, roč. 21, č. 4, s. 30–33.
- [5] HORSKÝ, J. – HORSKÝ, P. – HORSKÁ, J.: *Měření a jeho vyhodnocení V: interval mezi kalibracemi*. Automa, 2015, roč. 21, č. 5, s. 32–35.
- [6] HORSKÝ, J. – HORSKÝ, P. – HORSKÁ, J.: *Měření a jeho vyhodnocení VI: kalibrační laboratoře v současnosti*. Automa, 2015, roč. 21, č. 6, s. 32–36.
- [7] ČSN EN ISO/IEC 17025: 2005 *Posuzování shody – Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří*. IEC, 2005.

doc. Ing. Jiří Horský, CSc.
(horsky1@upcmil.cz),
doc. Dr. Ing. Pavel Horský,
Ing. Jana Horská, Ph.D.