



# 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 6.1.3/01/15

ČÍTAČ

Neprodejné

**Praha**  
Říjen 2015

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

**Číslo úkolu:** VII/2/15

**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

Tento kalibrační postup je určen pro kalibraci elektronických měřičů frekvence a časových intervalů (elektronických čítačů) s rozsahem do 200 MHz. Postup udává obecné způsoby kontroly technických parametrů těchto přístrojů bez ohledu na typové odlišnosti jednotlivých výrobců. Při konkrétní aplikaci jednotlivých metodik je třeba vždy respektovat specifikace výrobce, zvláště pokud jde o rozsahy vstupních signálů, zatěžovací impedance výstupů, rozsah napájecích napětí apod., případně doporučení výrobce pro kalibraci, pokud je dostupné.

## 2 Související normy a metodické předpisy

VDI/ VDE/ DGQ/ DKD 2622, část 7	Kalibrierrichtlinie für Universalzähler	[1]
	Electronic Counter Series Agilent technologies	[2]
	Fundamentals of the Electronic Counters, Application Note 200	[3]
	Fundamentals of Microwave Frequency Counters, Application Note 200-1	[4]
	Fundamentals of Quartz Oscillators, Application Note 200-2	[5]
	Fundamentals of Time Interval Measurements, Application Note 200-3	[6]
	Understanding Frequency Counter Specifications, Application Note 200-4	[7]
	Calibration of Time Base Oscillators, White Paper Agilent technologies	[8]
	Crystal Oscillator Testing White Paper Agilent technologies	[9]
	10 Hints for Getting the Most from Your Frequency Counter, Application Note, Keysight Technologies	[10]

*Measurements with the SR620* Application Note #2 [11]  
[www.thinkSRS.com](http://www.thinkSRS.com)

Metrologie času a frekvence, tematická příloha časopisu [12]  
Metrologie 2013

Pánek, P.: Přenos přesného času pomocí družicových navi- [13]  
gačních systémů. Metrologie, roč. 20 (2011), č. 3, s. 5 - 9

### 3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci čítačů 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. Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například osvědčením o odborné způsobilosti, osobním certifikátem apod. Vzhledem k extrémním dosažitelným přesnostem je v tomto oboru vzdělání zvláště důležité aby pracovníci podepisující kalibrační listy (technický vedoucí, signátoři) měli znalosti alespoň v rozsahu literatury uvedené v odstavci 2 a pracovníci provádějící kalibraci aby měli také odpovídající znalosti a měli by být i osobami znalými, s vyšší kvalifikací ve smyslu ČSN 34 3100 a vyhlášky ČÚBP č.50/78 Sb., popřípadě předpisů, které je nahradí. Některé základní informace jsou uvedeny v příloze.

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, zejména v ČSN 01 0115 a v publikacích věnovaných metrologii času a frekvence a ve slovníku IEV.

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 přeložen v TERMINOLOGIE Z OBLASTI METROLOGIE (2. vydání) dostupné na <http://www.unmz.cz/urad/sborniky-aktuální>.

Základní pojmy pro krystalový oscilátor, tvořící etalon frekvence v čítači

- XO krystalový oscilátor,
- TCXO tepelně kompenzovaný krystalový oscilátor,
- OCXO termostatizovaný krystalový oscilátor.

Vysvětlení základních pojmů je uvedeno v literatuře:

*Understanding Frequency Counter Specifications*, Application Note 200-4 Agilent tech.  
Keysight Technologies *10 Hints for Getting the Most from Your Frequency Counter Measurements with the SR620* Application Note #2 [www.thinkSRS.com](http://www.thinkSRS.com)

Použité symboly v dalším textu:

C - údaj na displeji čítače  
 D - dělicí poměr impulsního děliče frekvence  
 $f$  - měřená frekvence (Hz)  
 $f(\tau)$  - průměrná frekvence v časovém intervalu  $\tau$  (Hz)  
 $f_e$  - etalonová frekvence (Hz)  
 $f_{nas}$  - frekvence signálu s vynásobenou frekvenční odchylkou (Hz)  
 $f_{str}(\tau)$  - střední hodnota souboru průměrných frekvencí v časovém intervalu  $\tau$  (Hz)  
 m - relativní systematická změna frekvence 1/den  
 M - absolutní systematická změna frekvence Hz/den  
 n - násobící činitel násobiče frekvenční odchylky  
 N - počet prvků souboru naměřených hodnot  
 T - perioda signálu, délka časového intervalu (s)  
 $T_D$  - délka impulsu (s)  
 $T_e$  - perioda etalonového signálu (s)  
 $\Delta(f)$  - absolutní chyba frekvence (Hz)  
 $\Delta(T)$  - absolutní chyba délky periody (časového intervalu) (s)  
 $\tau$  - měrný interval čítače nebo měřicí metody (s)  
 $\sigma(\tau)$  - směrodatná odchylka průměrné frekvence v intervalu  $\tau$  (Hz)  
 $\sigma(\tau, a)$  - Allanova odchylka frekvence (Hz)  
 $\delta(f)$  - relativní chyba frekvence  
 $\delta(T)$  - relativní chyba periody (časového intervalu)  
 $\Delta t$  - délka hrany impulsu (s)  
 s - strmost hrany impulsu (V/s)  
 $U_{sp}$  - spouštěcí napětí čítače (V)

## 5 Prostředky potřebné pro kalibraci

Kalibrační pracoviště lze sestavit z různých zařízení, podle vybavení laboratoře.

### Základní vybavení

**Etalon frekvence navázaný na signál GPS** (případně GLONASS, DCF). U GPS to musí být přijímač konstruovaný pro etalonáž frekvence (ne specializovaný pro určení polohy). Frekvenční etalon (zdroj referenční frekvence), musí mít dlouhodobé metrologické parametry, které jsou alespoň o 1 řád vyšší, než odpovídající parametry kalibrovaného čítače, a měl by být porovnán s etalonáží v UFE.

**Referenční čítač** - měřič frekvence a časových intervalů s nejméně 10 zobrazenými místy, čítač a všechny generátory, je doporučeno provozovat ve stavu „zavěšeném“ na kmitočtový etalon laboratoře.

Další možná zařízení, která se vyskytují v laboratořích individuálně, jsou cesiový etalon, rubidiový generátor, krystalový speciální frekvenční etalon (například TESLA BM531), násobič frekvenční odchylky s násobícím činitelem  $10^1$  až  $10^4$ , frekvenční syntezátor do 200 MHz až 2 GHz, Dělič frekvence 5MHz/1Hz resp. 10 MHz/1Hz, TTL Generátor impulsů zadaného tvaru (0 – 20) kHz, Vf voltmetr 10 kHz až 2 GHz, Osciloskop (0 – 200) MHz, Multimetr, Atenuátor.

Přípravky podle potřeby kalibrovaných přístrojů.

Koaxiální kabely 50  $\Omega$  s konektory BNC nebo N podle potřeby.

Průchozí zátěž 50  $\Omega$ .

Další koaxiální příslušenství dle potřeby.

Ke kalibraci jsou dále potřebné následující prostředky:

Teploměr s rozsahem minimálně 20 °C až 26 °C, dílek stupnice minimálně 0,2 °C,

Vlhkoměr s měřicím rozsahem (0 až 100) % relat. vlhkosti

Obecně je možné použít i různé přístroje odpovídajících parametrů

Přístroje uvedené v čl. 5.1 musí mít zajištěnu metrologickou návaznost, musí být kalibrovány a stanoveny nejistoty měření.

## 6 Obecné podmínky kalibrace

Kalibrace čítače se provádí za následujících referenčních podmínek:

Teplota okolí 23 °C  $\pm$  2 °C.

Relativní vlhkost vzduchu: (45 až 75) % RH.

Napájecí napětí: 220 V  $\pm$  5%, 50 Hz.

Vnější rušivé elektromagnetické pole: svoji úrovní nesmí narušovat funkci kalibrovaného čítače.

Mechanické vibrace: plocha, na níž je kalibrován čítač po dobu zkoušky umístěn, musí být chráněna proti chvění tak, aby vliv vibrací na stabilitu frekvence oscilátoru časové základny čítače byl zanedbatelný.

Referenční podmínky je nutné před zahájením kalibrace, v jejím průběhu a po jejím skončení kontrolovat.

Před započítím měření, kterým určujeme chyby a vlastnosti čítače, musí být přístroje kalibračního pracoviště (kromě frekvenčních etalonů vyžadujících obvykle nepřetržitý provoz) v provozu po dobu nezbytnou k ustálení parametrů v souladu s požadavky uvedenými v průvodní dokumentaci těchto přístrojů.

## 7 Rozsah kalibrace

### 7.1 Minimální rozsah kalibrace obsahuje:

- Vlastnosti časové základny,
- vstupní citlivost při měření frekvence,
- mezní frekvence při měření frekvence,
- funkční zkouška u dalších funkcí čítače.

### 7.2 Poznámky k měření

#### **Přímé měření frekvence časové základny etalonovým čítačem:**

Z kontrolovaného čítače odebíráme signál časové základny. Obvykle se jedná o frekvenci 5 MHz nebo 10 MHz. Signál přivedeme na vstup referenčního čítače, který pracuje v režimu externí časové základny 10 MHz z GPS.

#### **Stanovení relativní chyby časové základny nepřímou metodou:**

Tato metoda se používá u jednoduchých čítačů, které nemají vyvedený výstup časové základny. Kalibrováný čítač přepneme do režimu měření frekvence a interval hradla nastavíme tak, aby čítač měřil s nejvyšším možným rozlišením. Na vstup čítače přivedeme etalonový signál 10 MHz z GPS. Hodnotu naměřenou čítačem zapíšeme.

Pokud kalibrovaný čítač neumožňuje měřit 10 MHz, je možné provést toto měření v režimu měření periody a jako etalonový signál použijeme 1 Hz z GPS.

### Měření frekvence časové základny měřením rozdílu fázového času:

Tato metoda se používá pro přesné měření frekvenční odchylky, náběhu krystalového oscilátoru a měření stability časové základny ve stanoveném časovém úseku.

### 7.3 Měření náběhu interních časových základen elektronických měřicích přístrojů

Měření průběhu ustalování kmitočtu (náběhu), kmitočtové odchylky a stability interních časových základen elektronických čítačů nebo etalonů času či kmitočtu se přednostně provádí metodou porovnání časových stupnic.

Měření náběhu se obvykle provádí v časech 0, 15, 30, 60, 120 a 300 minut a 24 hodin po připojení oscilátoru k napájení. Bezprostředně před měřením musí být měřený oscilátor odpojen od napájení po dobu nejméně 24 hodin a po tuto dobu také teplotně stabilizován na místě měření. Hodnota průměrné relativní kmitočtové odchylky pro čas 0 minut se neuvádí do kalibračního listu, slouží jen jako kontrola funkce.

Měření stability se obvykle provádí po dobu 5 - 6 dnů počínaje 5. dnem (120 hodin) po připojení oscilátoru k napájení, neurčí-li zákazník jinak. Série za sebou následují s odstupem jednotlivých zahájení 1 hodina.

Doporučený minimální rozsah kalibrace pro časové základny nezavěšené na etalon (GPS):

Typ časové základny	Stabilita za měsíc	Doba ohřevu hodin	Počet měření minimálně
XO	$\leq 10^{-6}$	1	3
TCXO	$\leq 10^{-7}$	1	3
OCXO	$\leq 10^{-8}$	48	6
rubidium	$\leq 10^{-10}$	8	6

Poznámka: z tabulky plyne, že i dosažitelná přesnost vlivem časové základny nepřekročí i u čítačů s více než desetimístným displejem

Typ časové základny	Očekávaná přesnost měření
XO	$10^{-5}$ až $10^{-6}$
TCXO	$10^{-6}$ až $10^{-7}$
OCXO	$10^{-7}$ až $10^{-9}$
rubidium	$10^{-10}$ až $10^{-11}$
Rubidium zavěšené na GPS	lepší než $10^{-11}$

Tabulka ukazuje, že pro čítače s desetimístným displejem je nutné používat časovou základnu odpovídající kvality, to je obvykle zavěšenou na GPS s kvalitním přijímačem GPS.

### 7.4 Kontrola vstupní citlivosti a frekvenčního pásma

Kalibrovaný čítač přepneme do režimu měření frekvence, nastavíme maximální citlivost, stejnosměrnou vazbu vstupu a spouštěcí úroveň 0V.

Na vstup přivedeme signál sinusového průběhu. Úroveň signálu nastavíme asi poloviční než je zaručovaná vstupní citlivost kalibrovaného čítače na příslušné frekvenci. Plynule zvyšujeme vstupní úroveň, až dosáhneme stabilní očekávané hodnoty zobrazené na displeji kalibrovaného čítače. Vstupní úroveň současně kontrolujeme referenčním etalonem, kterým je podle frekvence vstupního signálu multimetr nebo měřič výkonu. Pokud je vstupní citlivost kalibrovaného přístroje vysoká, použijeme pro zeslabení vstupního signálu attenuátor.

V případě, že zdrojem signálu není frekvenční syntezátor, je nutné kontrolovat frekvenci referenčním čítačem.

Měření opakujeme minimálně pro tři body frekvenčního pásma kalibrovaného čítače (začátek, konec a uprostřed). Pokud je frekvenční pásmo rozděleno na více podrozsahů, měříme na začátku a na konci každého podrozsahu.

Měření minimální úrovně vstupních signálů u elektronických čítačů se provádí, pokud není stanoveno zadavatelem ani kalibračním předpisem výrobce jinak. Měření se provádí na kmitočtech uvedených v dokumentaci jako hraniční pro různé zaručované vlastnosti nebo podmínky činnosti měřidla (např. citlivost, vstupní impedance, vazba AC/DC). Pokud nejsou takové údaje k dispozici, provede se volba měřících kmitočtů na základě zkušenosti s obdobnými měřidly. Úroveň signálu o známé velikosti na vstupu zkoušeného čítače je možno dosáhnout buď s použitím kalibrátoru nebo pomocí jiného vhodného generátoru ve spojení s úrovnovacím měřidlem (osciloskop, voltmetr, vf wattmetr). Pro všechny dále uvedené případy platí, že měřená vstupní úroveň čítače se rovná údajům kontrolního měřidla nebo hodnotě nastavené na generátoru. Všechny generátory je doporučeno provozovat ve stavu „zavěšeném“ na kmitočtový etalon laboratoře. Volba vhodného uspořádání je závislá na impedanci vstupu měřeného čítače a kmitočtovém rozsahu.

Pro vstupy s impedancí 50 Ω je vstupní úroveň udávána jako výkon nebo jako napětí a v souladu se zvyklostmi užívanými ve vf technice se udávané hodnoty včetně nejistot vztahují k parametrům postupně vlny. K zajištění definované úrovně je zde možno použít:

- generátor se symetrickým dvouodporovým děličem výkonu a úrovnovacím wattmetrem (popř. jiným vhodným měřidlem úrovně s vstupní impedancí 50 Ω); až do nejvyšších kmitočtů dle specifikací užitých částí měřicí trasy,
- generátor s kvalitním koaxiálním kabelem zakončeným zeslabovačem (doporučeno alespoň 6 dB), který se střídavě přepojuje k vf wattmetru (popř. jinému vhodnému měřidlu úrovně s vstupní impedancí 50 Ω) a měřenému čítači; až do nejvyšších kmitočtů dle specifikací užitých částí měřicí trasy,
- kalibrátor osciloskopů (při nastavené impedanci 50 Ω); až do jeho mezního kmitočtu.

Pro vstupy s vysokou impedancí (obvykle 1 MΩ) je za vstupní úroveň považována hodnota napětí v rovině vstupního konektoru (případně svorek). Pro omezení chyb způsobených existencí stojatých vln na přijatelnou hodnotu (cca 5 % pro napětí) je třeba zajistit, aby elektrická délka vedení mezi vstupem čítače a místem připojení úrovnovacího měřidla do měřicí trasy byla menší než 1/20 vlnové délky na nejvyšším měřicím kmitočtu. K zajištění definované úrovně je možno použít:

- vhodný generátor spolu s úrovnovacím měřidlem (voltmetr, osciloskop, vf wattmetr) připojeným pomocí koaxiální spojky T co nejblíže ke vstupu čítače,
- stejné uspořádání jako pro měření vstupů s impedancí 50 Ω s tím rozdílem, že k vysokoimpedančnímu vstupu se připojí průchozí padesátiohmová zátěž (případně se jinak vhodně připojí paralelní odpor 50 Ω); zde se na vyšších kmitočtech rušivě uplatňuje vliv RC článku tvořeného vnitřním odporem zdroje (25 Ω) a vstupní kapacitou čítače,
- kalibrátor osciloskopů (při nastavené impedanci 1 MΩ); na vyšších kmitočtech se rušivě uplatňuje vliv RC článku tvořeného vnitřním odporem kalibrátoru (25 Ω pro kalibrátor 9500 při sinusovém průběhu) a vstupní kapacitou čítače.

Pro poslední dva případy lze k určení mezního kmitočtu (chyba napětí do 5 %) užít následující orientační vztah, kde  $C_{vst}$  je vstupní kapacita čítače.

$$f(MHz) = 2000 / C_{vst}(pF)$$



Při zjišťování minimální úrovně na vstupu měřeného čítače se vstupní úroveň postupně snižuje obvykle s krokem asi 10 % nebo 1 dB z aktuální hodnoty.

### 7.5 Měření kmitočtu

Při kalibraci se u čítače použije funkce měření kmitočtu.

Jako zdroj signálu použije generátor s odpovídajícím kmitočtovým rozsahem. Amplituda signálu se nastavuje podle následujícího klíče:

- Pokud je ve specifikacích zkoušeného měřidla nebo v kalibračním předpisu výrobce stanovena konkrétní vstupní úroveň, nastaví se tato úroveň.
- Není-li konkrétní úroveň stanovena, používá se (mezivrcholová) hodnota napětí asi 1 V, případně úroveň 4dBm pro měřidla se vstupní impedancí 50  $\Omega$ .
- Nevyhovuje-li tato hodnota, nastaví se vstupní úroveň přibližně na desetinásobek vstupní citlivosti zkoušeného měřidla.
- Pokud ani tato hodnota z nějakého důvodu nevyhovuje, nastaví se úroveň přibližně doprostřed pásma dovolených hodnot úrovně signálu.

Není-li stanoveno jinak, volí se tvar signálu v rámci možností generátoru přednostně obdélníkový z důvodu maximální strmosti hran.

Signál se přivádí současně na vstupy etalonového i kalibrovaného čítače. Rozdělení signálu se provede jednoduchým koaxiálním prvkem T pro vysokoimpedanční vstupy a kmitočty řádu max. desítek MHz. Při použití 50  $\Omega$  trasy se k rozdělení signálu použije tříodporový nebo dvouodporový dělič výkonu.

Kalibrované měřidlo i etalonový čítač se nastaví do režimu jednorázového spouštění a doby otevření hradla se nastaví na přibližně stejnou hodnotu. Provede se 10 odečtů tak, že se čítače ručně spouštějí ve stejný okamžik. Vypočte se střední hodnota údaje etalonového i kalibrovaného čítače. Současně se vypočítá nejistota typu A.

Pokud kalibrované měřidlo neumožňuje jednorázové spouštění, provedou se odečty údaje měřidla přibližně vždy ve stejný okamžik, kdy po předchozím jednorázovém spuštění etalonový čítač zobrazí novou měřenou hodnotu.

Pro další podrobnosti měřicího uspořádání a postupu dále uvedených měření platí přiměřeně údaje uvedené v této kapitole.

### 7.6 Měření časového intervalu

Při kalibraci časových intervalů reprezentovaných jedním nebo dvěma elektrickými signály se u etalonového čítače použije funkce měření časového intervalu. Podle možností použitého etalonového čítače se užije jednokanálové nebo dvoukanálové měření. Při dvoukanálovém měření je třeba brát v úvahu možnost vzniku chyb vlivem nestejného zpoždění přívodních kabelů. Obecně je třeba mít na paměti, že impedanční nepřizpůsobení měřicí trasy může mít za následek tvarové zkreslení impulsních průběhů vedoucí k nezanedbatelným chybám měření. To platí zejména při měření krátkých časových intervalů a signálů se strmými hranami.

### 7.7 Čítání impulsů

Při kalibraci počtu elektrických impulsů se u etalonového čítače použije funkce prostého čítání impulsů hodnoty.

### 7.8 Kontrola spouštěcí úrovně

Tuto kontrolu provádíme u čítačů vybavených digitální indikací nastavené spouštěcí úrovně. Kalibrovaný čítač přepneme do režimu prostého čítání impulsů, zvolíme stejnosměrnou vazbu vstupu a propojíme s výstupem kalibrátoru v režimu DC napětí.

Na kalibrovaném čítači nastavíme požadovanou hodnotu spouštěcí úrovně a pomalu zvyšujeme vstupní DC napětí až do okamžiku, kdy čítač započítá jeden impuls.

Chyba spouštěcí úrovně je dána rozdílem mezi nastavenou spouštěcí úrovní a skutečnou úrovní DC napětí z kalibrátoru. Měření provedeme minimálně ve třech bodech rozsahu spouštěcí úrovně a pro každý bod opakujeme měření pětikrát, přičemž z pěti naměřených údajů vypočítáme střední hodnotu  $\Delta U$ .

### 7.9 Další měření

Do dalších měření patří:

- měření šířky (doby trvání) elektrických impulsů,
- měření činitele plnění obdélníkového signálu.

Při kalibraci se u etalonového čítače použije příslušná funkce.

Při zkoušce správnosti elektronických čítačů se používají ještě tyto zkoušky:

- měření minimální úrovně vstupních signálů  $U_{min}$  pro sinusový i impulsní (obdélníkový) signál,
- měření maximálního kmitočtu  $f_{max}$ , který je čítač ještě schopen měřit pro sinusový i impulsní (obdélníkový) signál.

## 8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

### 8.1 Podrobný popis zkoušek

Při kalibraci čítače se provádějí následující zkoušky:

- vnější prohlídka,
- informativní kontrola funkce,
- kontrola parametrů časové základny čítače a kontrola frekvencí odvozených dělením ze základní frekvence časové základny,
- kontrola vstupní citlivosti a frekvenčního rozsahu čítače,
- kontrola rozsahu spouštěcí úrovně,
- kontrola měření frekvence,
- kontrola měření periody signálu,
- kontrola měření v režimu prostého čítání,
- kontrola jednokanálového měření šířky impulsu,
- kontrola dvoukanálového měření délky časového intervalu,
- kontrola měření převrácené hodnoty časového intervalu,
- kontrola měření délky sestupné a vzestupné hrany,
- kontrola měření strmosti hrany impulsu,
- kontrola měření poměru frekvencí.

### 8.2 Předběžná kontrola čítače

#### 8.2.1 Přezkoumání smlouvy

Se zákazníkem je potřebné ujasnit zejména, zda provozuje čítač zavěšený na etalon frekvence a pokud ne, jeho požadavky na rozsah kontrol náběhu a driftu časové základny

#### 8.2.2 Kontrola dodávky a příprava

Při přebírání čítače ke kalibraci je třeba, aby odpovědný pracovník metrologického pracoviště posoudil, zda typ, výrobní číslo a příslušenství dodaného čítače odpovídají údajům uvedeným na objednávce nebo dodacím listu. Současně se provede předběžná kontrola čítače, spočívající ve vnější prohlídce přístroje.

## 9 Postup kalibrace

### 9.1 Vnější prohlídka

Při převzetí čítače od zadavatele kalibrace se zjišťuje, zda byl dodán s technickou dokumentací a potřebným příslušenstvím (zásuvné jednotky apod.). Čítač se zásuvnými jednotkami musí být dodán s minimální sestavou zásuvných jednotek, aby byla umožněna jeho funkce. Dokumentace musí obsahovat popis čítače a příslušenství, návod k obsluze a specifikaci přístroje. Kompletnost přístroje a jeho příslušenství zjistíme podle dokumentace.

Při vnější obhlídce se zjistí, zda není čítač mechanicky poškozen nebo zda nevykazuje jiné závady, viditelné bez jeho zapnutí. Pokud jsou takové závady shledány, je přístroj z metrologické kontroly vyřazen. Pokud se při technické prohlídce zjistí hrubé závady, je zadavatel zkoušky, vlastník měřidla požádán o jejich odstranění. Do odstranění závad se ve zkouškách nepokračuje.

### 9.2 Informativní kontrola funkce

Kalibrovaný čítač se umístí do prostředí s teplotou a vlhkostí vzduchu podle čl. 6 a ponechá se v klidu po dobu nejméně 4 hodin. Byl-li čítač do tohoto prostředí přenesen z prostředí s výrazně nižší teplotou, snažíme se omezit možnost jeho orosení, je třeba jej ponechat v klidu po dobu 24 hodin.

Po ustálení se čítač zapne a uvede do provozu podle návodu výrobce.

Provedeme autokontrolu funkce čítače podle návodu výrobce. Autokontrola jednoduchých čítačů spočívá obvykle pouze v měření frekvence 1 MHz nebo 10 MHz vlastní časové základny a má za cíl prověřit obecnou funkci časové základny, hradlovacích obvodů, vlastního čítače měrných impulsů, displeje apod. Složitější čítače vybavené mikroprocesorovou jednotkou pro řízení funkce a zpracování dat provádějí autokontrolu v širším měřítku. Čítač, který nevyhověl při autokontrolě, je z další kalibrace vyřazen.

V případě kladného výsledku autokontroly přezkoušíme předběžně funkci čítače v jednotlivých režimech měření uvedených ve výčtu technických vlastností čítače.

K tomuto účelu přivedeme na jeho vstup (vstupy) signál odpovídající úrovni (podle technických parametrů čítače) o známé frekvenci, nastavíme potřebnou klíčovací úroveň a spouštěcí hranu a přesvědčíme se, že výsledky měření přibližně odpovídají očekávaným hodnotám. Tímto informativním měřením zkontrolujeme všechny základní funkce čítače v rozsahu jeho technických vlastností.

Pokud je výsledek autokontroly anebo informativních měření negativní, vyřadíme čítač z metrologické kontroly.

Při měření se používá některý z etalonových čítačů, jehož funkce se volí podle měřené veličiny. Obecně platí, že nastavení vstupů etalonového čítače i kalibrovaného měřidla (spouštěcí úroveň, spouštěcí hrana, vstupní citlivost) musí být provedeno podle pokynů výrobce uvedených v návodu na obsluhu a s ohledem na měřený signál. Není-li předepsáno jinak, nastaví se měřidla na spouštění v místě předpokládané největší strmosti signálu.

U zkoušeného měřidla se přednostně užije jeho vnitřní referenční oscilátor. Ve zvláštních případech, např. pokud je to předepsáno v kalibračním předpisu výrobce nebo pokud uživatel nepoužívá vnitřní referenční oscilátor, je možno provést některé z následujících testů za použití společného referenčního signálu pro etalonový čítač i kalibrované měřidlo. Tato skutečnost musí být uvedena v kalibračním listu.

### 9.2.1 Kontrola vstupní citlivosti a frekvenčního pásma

Kalibrovaný čítač přepneme do režimu měření frekvence, nastavíme maximální citlivost, stejnosměrnou vazbu vstupu a spouštěcí úroveň 0V.

Na vstup přivedeme signál sinusového průběhu. Úroveň signálu nastavíme asi poloviční než je zaručovaná vstupní citlivost kalibrovaného čítače na příslušné frekvenci. Plynule zvyšujeme vstupní úroveň, až dosáhneme stabilní očekávané hodnoty zobrazené na displeji kalibrovaného čítače. Vstupní úroveň současně kontrolujeme referenčním etalonem, kterým je podle frekvence vstupního signálu multimetr nebo měřič výkonu. Pokud je vstupní citlivost kalibrovaného přístroje lepší, než hodnoty generované přímo ze zdroje, použijeme pro zeslabení vstupního signálu zeslabovač.

V případě, že zdrojem signálu není frekvenční syntezátor, je nutné kontrolovat frekvenci zdroje signálu referenčním čítačem.

Měření opakujeme minimálně pro tři body frekvenčního pásma kalibrovaného čítače (začátek, konec a uprostřed). Pokud je frekvenční pásmo rozděleno na více podrozahů, měříme na začátku a na konci každého podrozahu.

## 9.3 Kontrola parametrů časové základny čítače a kontrola frekvencí odvozených dělením ze základní frekvence časové základny

Základem pro stanovení veškerých dlouhodobých i krátkodobých parametrů časové základny čítače je měření frekvence.

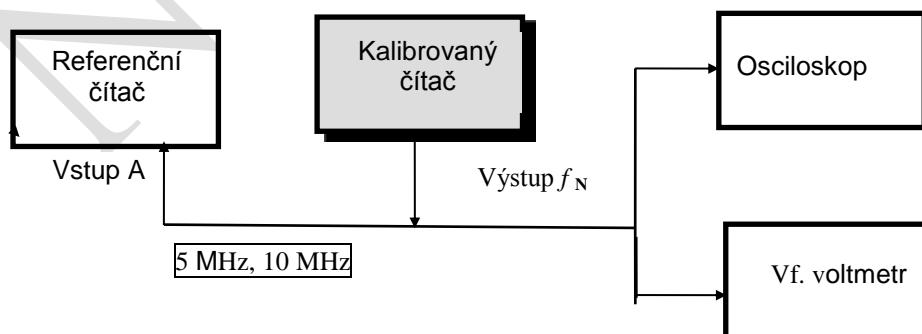
Z hodnot frekvence (jedná se vždy o střední hodnotu frekvence v určitém měřeném intervalu) změřených v příslušných časových okamžicích lze následně vyhodnotit požadované parametry frekvence, jako je stárnutí, stabilita, teplotní závislost atd.

Z tohoto důvodu dříve, než uvedeme konkrétní metodiky stanovení jednotlivých parametrů časové základny, popíšeme několik základních metod měření frekvence. Volba konkrétní měřicí metody je závislá na přístrojovém vybavení a zvyklostech pracoviště. Popsané metody jsou ve smyslu tohoto kalibračního předpisu ekvivalentní, pokud zaručují stejnou přesnost měření.

Požadovaná přesnost přitom musí být alespoň o 1 dekadický řád vyšší než hodnota příslušného parametru. To znamená, že např. při kontrole změny frekvence způsobené stárnutím, která je udána v technických podmínkách hodnotou  $5 \cdot 10^{-9}/\text{den}$ , je třeba frekvenci měřit s přesností alespoň  $5 \cdot 10^{-10}$ .

### 9.3.1 Přímé měření frekvence časové základny čítačem

Pracoviště pro přímé měření frekvence je uvedeno na obr. 1.



Obr. 1 - Přímé měření frekvence

Z kalibrovaného čítače odebíráme signál časové základny (z výstupu označeného obvykle  $f_N$ ). Abychom dosáhli maximální přesnosti měření, zvolíme signál o nejvyšší frekvenci, kterou časová základna poskytuje. Obvykle se jedná o frekvenci 5 MHz nebo 10 MHz.

Osciloskopem zjistíme, jedná-li se o sinusový signál nebo o impulsní signál. Vf. voltmetrem změříme efektivní napětí sinusového signálu, resp. rozkmit impulsního signálu a přesvědčíme se, že signál není nepřiměřeně zašuměný.

Úroveň šumu či brumu superponovaného na signál nesmí být větší než 1% (-40 dB) ve vztahu k amplitudě (rozkmitu) signálu. Úroveň výstupního signálu musí být v předepsaném rozsahu úrovní vstupního signálu referenčního čítače.

Signál přivedeme na vstup referenčního čítače, určený k měření frekvence (obvykle bývá označen jako A) a zvolíme vstupní impedanci odpovídající předepsané zátěži výstupu  $f_N$ .

Není-li tato zátěž předepsaná, zvolíme vysokou vstupní impedanci.

Abychom při měření dosáhli minimální chyby spouštění, nastavíme spouštěcí úroveň kanálu A, při níž má signál maximální strmost průběhu.

V případě sinusového signálu proto volíme střídavou vazbu vstupu A a spouštěcí úroveň 0 V. Volba vzestupné nebo sestupné hrany je v tomto případě libovolná.

V případě impulsního signálu volíme stejnosměrnou vazbu vstupu A, a spouštěcí úroveň, která odpovídá maximální strmosti hrany. Podmínce maximální strmosti podřídíme i volbu vzestupné nebo sestupné hrany impulsního signálu při měření.

Zvolíme maximální hodnotu hradlovacího intervalu, abychom měřili s minimální kvantizační chybou. Sledujeme údaj na displeji referenčního čítače a přesvědčíme se, že výsledky periodických měření jsou stabilní, tj. že se mění v rozsahu nejistoty měření referenčního čítače a nevykazují neúměrné změny.

Zapíšeme údaj  $C$  displeje referenčního čítače. Za předpokladu, že je splněna podmínka přesnosti měření, můžeme s dostatečnou přesností považovat hodnotu na displeji rovnou měřené frekvenci časové základny, tj. střední frekvenci časové základny v intervalu

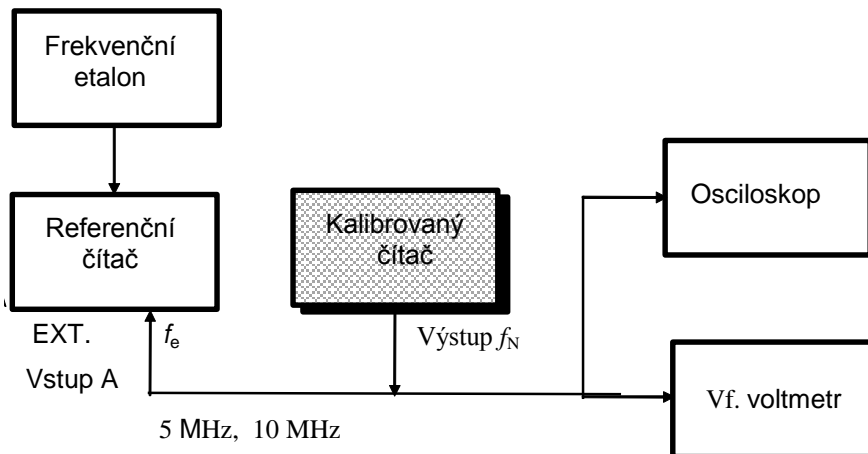
$$\tau : f(\tau) = C.$$

### 9.3.2 Přímé měření frekvence čítačem s externím signálem časové základny

Většina čítačů je opatřena vstupem externího řídicího signálu (obvykle 5 MHz nebo 10 MHz), kterým lze přímo nahradit nebo synchronizovat signál vnitřní časové základny. Této možnosti je třeba využívat vždy, máme-li na pracovišti etalonový zdroj frekvence s vyššími metrologickými parametry, než má časová základna referenčního čítače.

Protože je etalon obvykle v trvalém provozu, je toto řešení výhodné i z praktického hlediska, protože odpadá potřeba poměrně dlouhého ustalování teploty (a tedy frekvence) vnitřního oscilátoru časové základny referenčního čítače.

Čítač s externím signálem časové základny je metrologicky plně provozuschopný prakticky ihned po zapnutí.



Obr. 2 - Měření frekvence s externím signálem časové základny čítače

Vlastní měření provedeme stejně jako v předchozím případě – metodika čl. 9.3.1.

### 9.3.3 Přímé měření frekvence čítačem s využitím násobiče frekvenční odchytky

Pokud je rozlišovací schopnost referenčního čítače nedostatečná i při volbě nejdelšího měrného intervalu, je výhodné použít násobič frekvenční odchytky. Toto zařízení umožňuje  $n$ -krát (obvykle je  $n$  volitelné v rozsahu  $n = 1$  až  $n = 10000$ ) zvýšit vzájemnou frekvenční odchytku dvou signálů o téže jmenovité frekvenci (např. 5 MHz nebo 1 MHz). Označíme-li frekvence těchto signálů jako  $f_e$  a  $f$  a platí-li, že

$$f - f_e = \Delta f, \text{ tj.}$$

$$f = f_e + \Delta f$$

a přivedeme-li tyto signály na příslušné vstupy násobiče frekvenční odchytky ( $f_e$  použijeme jako referenční a  $f$  jako měřený), pak na výstupu násobiče dostaneme signál

$$f_{nas} = f_e + n\Delta f.$$

Místo signálu  $f$  pak čítačem měříme signál  $f_{nas}$ . Toto  $n$ -násobné zvýšení frekvenční odchytky je ekvivalentní  $n$ -násobnému zvýšení rozlišovací schopnosti čítače (zvýšení měrné frekvence). Pokud přesnost frekvence  $f_e$  převyšuje alespoň o 1 řád požadovanou přesnost měřené frekvence, pak hodnotu  $\Delta f$  lze s dostatečnou přesností přijmout jako odchytku měřené frekvence od jmenovité hodnoty.

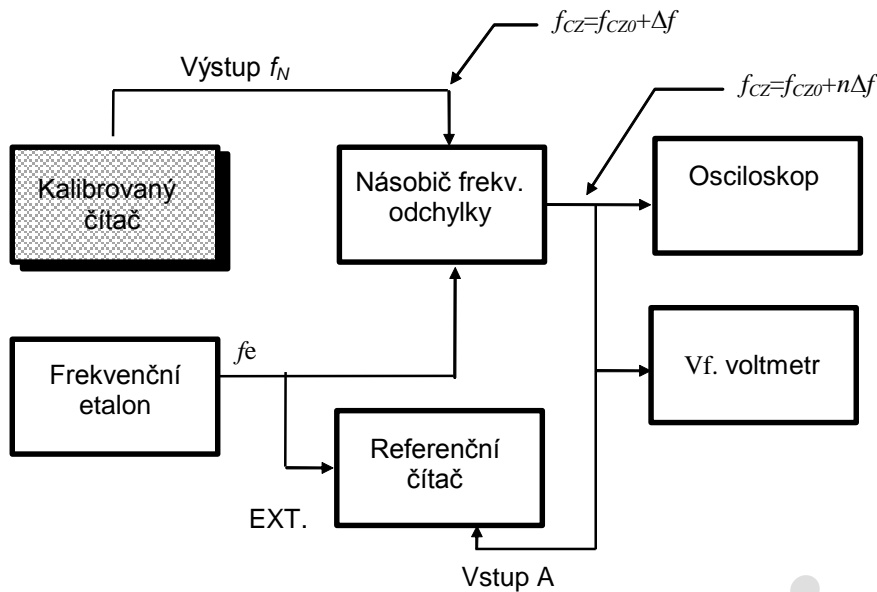
Schéma měřicího pracoviště je uvedeno na obr. 3.

Etalonovou frekvenci  $f_e$  využijeme současně jako externí signál časové základny.

Etalonový signál přivedeme na externí vstup EXT. časové základny referenčního čítače a na referenční vstup násobiče frekvenční odchytky.

Měřený signál vedeme na signálový vstup násobiče frekvenční odchytky. Ověříme, zda mají tyto signály předepsanou úroveň podle dokumentace násobiče frekvenční odchytky.

Výstupní signál násobiče frekvenční odchytky přivedeme na vstup referenčního čítače, určený k měření frekvence (obvykle bývá označen jako A) a zvolíme nízkou vstupní impedanci kanálu referenčního čítače.



Obr. 3 - Měření frekvence s použitím násobiče frekvenční odchylky.

Zvolíme potřebnou spouštěcí úroveň měřicího kanálu podle čl. 9.3.1, maximální délku hradlovacího intervalu a nízkou impedanci vstupu referenčního čítače.

Při měření zvyšujeme postupně násobící koeficient od  $n = 1$  do  $n = 10000$  a sledujeme údaj na displeji referenčního čítače. Údaj měřené frekvenční odchylky se při správném měření musí s každým přepnutím zvýšit 10krát a být stabilní. Pokud tomu tak při nastavení určité hodnoty násobícího koeficientu není, tj. když se odchylka nezvýší 10 krát a údaj na čítači se značně mění (tento stav, který je obvykle vyvolán vyšší úrovní fázových šumů vstupních signálů, nastává při vyšších hodnotách násobícího koeficientu  $n$ ), vrátíme se na předchozí hodnotu a měření provedeme s touto hodnotou  $n$ .

Odečteme údaj  $C$  na displeji čítače.

Absolutní frekvenční odchylku časové základny vypočteme ze vzorce

$$\Delta f_{cz} = \frac{C - f_{czo}}{n},$$

kde  $C$  - údaj čítače

$f_{czo}$  - jmenovitá hodnota frekvence časové základny

$n$  - násobící činitel.

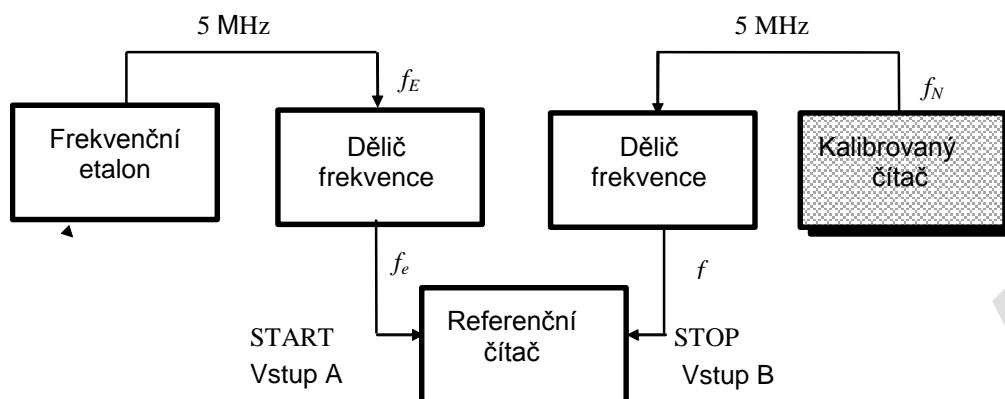
Relativní frekvenční odchylka časové základny

$$\delta f_{cz} = \frac{\Delta f_{cz}}{\Delta f_{czo}}$$

a skutečná frekvence časové základny

$$f_{cz}(\tau) = f_{czo} + \Delta f_{cz} .$$

## 9.3.4 Stanovení frekvence měřením rozdílu fázového času



Obr. 4. Měření fázového času

Měřicí pracoviště pro tuto metodu je uvedeno na obr. 4.

Referenční čítač přepneme do režimu dvoukanálového měření délky časového intervalu a zvolíme nejvyšší rozlišovací schopnost čítače (měrnou frekvenci). Na vstup A (START) přivedeme signál frekvenčního etalonu o frekvenci  $f_E$  snižené pomocí děliče na dostatečně nízkou hodnotu  $f_e$  (např. 1 Hz).

Na vstup B (STOP) přivedeme měřený signál o frekvenci  $f_N$  rovněž snižené děličem frekvence na dostatečně nízkou hodnotu  $f$ . Je vhodné, aby frekvence  $f_e$  a  $f$  byly co do jmenovité hodnoty rovné, resp. aby frekvence  $f$  byla celistvým násobkem frekvence  $f_e$ . Místo děliče používaného ke snížení frekvence časové základny kalibrovaného čítače můžeme s výhodou využít frekvenci  $f_N$  sniženou vlastním děličem tohoto čítače.

Po nastavení spouštěcích úrovní, citlivosti a vstupní impedance kanálů A a B podle čl. 9.3.1 provedeme vlastní měření a výpočet naměřené frekvence takto:

1. Na displeji referenčního čítače odečteme hodnotu změřeného časového intervalu, kterou označíme  $C_1$ .
2. Po uplynutí měrného intervalu  $\tau$  (s), který zvolíme podle potřeby, znovu odečteme hodnotu změřeného časového intervalu, kterou označíme  $C_2$ . Během měření sledujeme, zda se údaj čítače mění (vzrůstá nebo klesá) plynule a zda při měření nedošlo ke skoku fázového času. Pokud k takovému skoku došlo, měření podle 1) a 2) opakujeme.
3. Vypočteme relativní frekvenční odchylku měřeného signálu co do hodnoty  $i$  znaménka:

$$\delta f = \frac{C_1 - C_2}{\tau}$$

Z předchozího vzorce vyplývá, že při  $C_2 > C_1$ , tj. v případě že údaj čítače vzrůstá, je frekvenční odchylka měřeného signálu záporná.

Absolutní frekvenční odchylka

$$\Delta f = \delta f - f$$

a hodnota naměřené frekvence

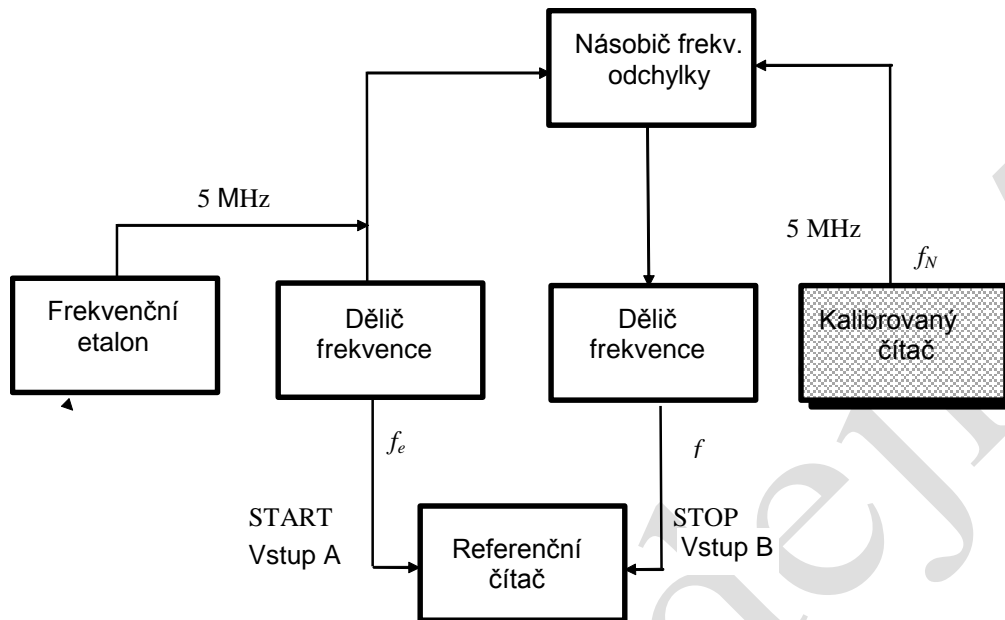
$$f = f_0(1 + \delta f).$$



Poznámka 1:

I při této metodě je vhodné pro zvýšení rozlišovací schopnosti měření (zvláště při malých hodnotách frekvenční odchylky) použít násobič frekvenční odchylky.

Měřicí pracoviště s násobičem frekvenční odchylky je uvedeno na obr. 5



Obr. 5 Měření fázového času s použitím násobiče frekvenční odchylky

Při volbě násobícího činitele  $n$  násobiče frekvenční odchylky se řídíme pokyny uvedenými v čl. 9.3.3. Vlastní měření provedeme stejně, jak uvedeno výše. Relativní frekvenční odchylku v tomto případě vypočteme ze vzorce

$$\delta f = \frac{C_1 - C_2}{n \tau}$$

Absolutní frekvenční odchylku i hodnotu naměřené frekvence vypočteme ze vzorců uvedených výše v tomto článku.

### 9.3.5 Kontrola náběhu frekvence časové základny po zapnutí

Vzhledem k tomu, že frekvence krystalového oscilátoru časové základny čítače je závislá na teplotě piezoelektrického rezonátoru i ostatních prvků, důležitým parametrem časové základny čítače, je rychlost ustálení neboli náběh frekvence po zapnutí vychladlého čítače. Výrobci obvykle charakterizují náběh frekvence velikostí její změny v časovém intervalu, který následuje po uplynutí stanovené doby  $T$  od zapnutí vychladlého (tj. vypnutého na předepsanou dobu) čítače:

$$\Delta f = f(T + \tau) - f(T),$$

Kde:

$f(T)$  je frekvence časové základny v čase  $T$  po zapnutí.

$f(T + \tau)$  je frekvence časové základny v čase  $T + \tau$  po zapnutí.

Kontrolu náběhu provedeme následovně:

V závislosti na zvolené metodice měření frekvence (9.3.1 až 9.3.4) sestavíme měřicí pracoviště podle obr. 1 až obr. 4. Čítač, který byl po předepsanou dobu vypnut (min. 12 hodin, pokud

výrobce nespecifikuje jinou hodnotu), zapneme a po uplynutí doby náběhu udané výrobcem změříme frekvenci  $f(T)$  časové základny.

Poté, po uplynutí doby  $\tau$  od prvního měření, změříme frekvenci  $f(T + \tau)$ .

Popsaná měření včetně vypnutí čítače na předepsanou dobu mezi měřeními opakujeme 3krát po sobě a z vypočtených hodnot  $\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3$  určíme průměrnou změnu frekvence

$$\Delta f = \frac{\Delta f_1 + \Delta f_2 + \Delta f_3}{3},$$

která nesmí překročit hodnotu udanou výrobcem čítače.

### 9.3.6 Kontrola dlouhodobé stability frekvence časové základny

Dlouhodobou stabilitou frekvence krystalového oscilátoru časové základny charakterizuje jeho stárnutí, tj. systematická časová změna frekvence nepřetržitě pracujícího oscilátoru, vztažená obvykle k časovému intervalu 1 den, po určité době nepřetržitého provozu.

*Např. pro časovou základnu čítače BM 642C je udáno denní stárnutí  $< 10^{-9}$  /den po 10 dnech nepřetržitého provozu.*

Kontrolu dlouhodobé frekvenční stability oscilátoru časové základny provádíme následovně. Oscilátor časové základny ponecháme v nepřetržitém provozu po dobu uvedenou výrobcem čítače nebo po dobu 5 dnů v případě, že doba ustálení není výrobcem specifikována. Podle zvolené metodiky 9.3.1 až 9.3.4 měříme frekvenci oscilátoru časové základny opakovaně po 24 hodinách po následujících 10 dní. Tím dostaneme 10 hodnot frekvence  $f_i$  ( $i = 1 \dots 10$ ). Z nich vypočteme absolutní průměrnou systematickou změnu  $M$  frekvence za časový interval 1 den, jakožto směrnici regresní přímky, tj. přímky proložené metodou nejmenších čtverců souborem naměřených hodnot  $f_i$ :

$$M = 0,01212 \left( \sum_{i=1}^{10} i \cdot f_i - 0,55 \sum_{i=1}^{10} f_i \right), \text{ (Hz / d)}$$

nebo relativní průměrnou systematickou změnu frekvence  $m$  za časový interval 1 den

$$m = \frac{M}{f_0},$$

kde  $f_0$  je jmenovitá hodnota měřené frekvence.

Hodnota  $m$  nesmí překročit hodnotu udanou výrobcem.

### 9.3.7 Stanovení stability frekvence oscilátoru časové základny čítače v zadaném časovém intervalu

Poznámka 1: Frekvenční stabilita se nejčastěji charakterizuje dvěma statistickými parametry a to směrodatnou odchylkou  $\sigma(\tau)$  střední hodnoty frekvence v intervalu a tzv. Allanovou odchylkou frekvence  $\sigma_y(\tau)$  v intervalu  $\tau$ .

Základem pro stanovení obou výše uvedených statistických parametrů je soubor  $N$  hodnot frekvence  $f_i(\tau)$  ( $i = 1 \dots N$ ) změřených v  $N$  intervalech  $\tau$  bezprostředně po sobě následujících.  $f_i(\tau)$  tedy představují průměrné hodnoty frekvence v intervalu  $\tau$ . Hodnota  $N$  musí být zvolena dostatečně velká, aby soubor použitý k výpočtu frekvenční stability byl statisticky reprezentativní.

Směrodatná odchylka frekvence  $\sigma(\tau)$  je definována jako

$$\sigma(\tau) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_i(\tau) - f_{str}(\tau))^2}{N}}, \quad (1)$$

kde

$$f_{str}(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^N f_i(\tau)}{N} . \quad (2)$$

Allanova odchylka je definována takto:

$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (f_{i+1}(\tau) - f_{str}(\tau))^2}{2(N-1)}} \quad (3)$$

Poznámka 2:

Průměrovací intervaly  $\tau$ , pro něž výrobci čítačů zaručují stabilitu frekvence ve smyslu směrodatné odchylky nebo ve smyslu Allanovy odchylky se obvykle pohybují v rozsahu od 0.01 s do 1 d.

V závislosti na dané hodnotě  $\tau$  zvolíme pro získání souboru hodnot  $f_i(\tau)$  měřící metodu vhodnou z hlediska rozlišovací schopnosti a vlastní realizovatelnosti (metodiky 9.3.1 až 9.3.4).

Pro malé hodnoty  $\tau$  (do 10 s) jsou vhodnější metody přímého měření frekvence, kdy délku hradlovacího intervalu referenčního čítače volíme rovnou požadované hodnotě  $\tau$  a pro zvýšení rozlišovací schopnosti použijeme násobič frekvenční odchylky. Pro stanovení střední frekvence v intervalech  $\tau > 10$  s je vhodné použít metodu založenou na měření rozdílu fázových časů (metodika čl. 9.3.3). I v tomto případě lze zvýšit rozlišovací schopnost měření použitím násobiče frekvenční odchylky.

Předepsaný počet prvků souboru naměřených hodnot  $N$  v závislosti na délce časového intervalu je uveden v Tabulce 1

Tabulka 1

Časový interval	Počet měření $N$
0.01 s	100
0.1 s	100
1 s	100
10 s	100
100 s	100
1000 s	50
1 h	50
10 h	10
1 d	10

Definice  $\sigma(\tau)$  a  $\sigma_y(\tau)$  (1,3) předpokládají, že mezi jednotlivými měřeními je nulová pauza. Tato podmínka je splněna pouze v případě měření rozdílů fázových časů. Při přímém měření frekvence resp. periody se vždy uplatňuje mrtvý čas čítače. Tento mrtvý čas, resp. pauza mezi měřeními, nesmí při praktickém měření překročit délku intervalu  $\tau$ .

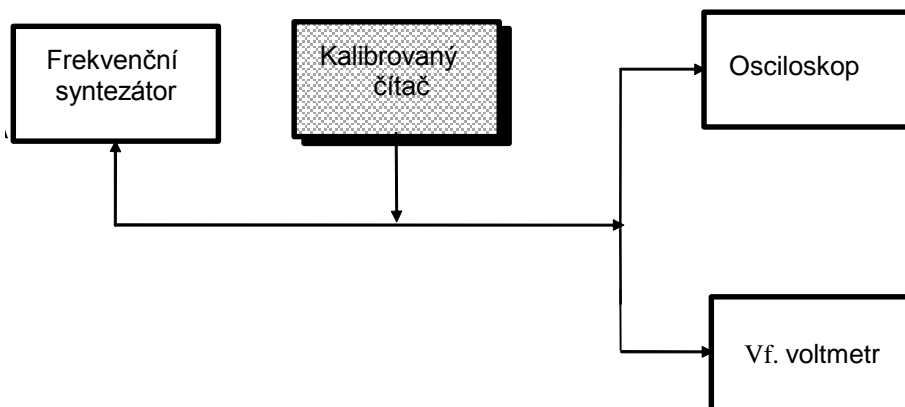
### 9.3.8 Kontrola frekvencí odvozených z frekvence oscilátoru časové základny

Frekvence signálů odvozených ze základní frekvence oscilátoru časové základny měříme na příslušném výstupu čítače. Přepínáme dělicí poměr a kontrolujeme, zda měřená frekvence svojí nominální hodnotou odpovídá předepsané hodnotě.

## 9.4. Kontrola vstupní citlivosti a frekvenčního rozsahu čítače

### 9.4.1. Kontrola vstupní citlivosti při sinusovém signálu

V zapojení měřicího pracoviště podle obr. 6 přepneme kontrolovaný čítač do režimu měření frekvence, přepínač citlivosti příslušného vstupu přepneme do polohy maximální citlivosti, zvolíme střídavou vazbu vstupu a jeho spouštěcí úroveň nastavíme rovnou 0 V.



Obr. 6 Kontrola vstupní citlivosti čítače

Atenuátorem frekvenčního syntezátoru (nebo externím atenuátorem) nastavíme minimální úroveň signálu přiváděného na vstup čítače, kterou uvádí výrobce v technické dokumentaci. Úroveň signálu kontrolujeme vf voltmetrem a osciloskopem. Frekvenci signálu frekvenčního syntezátoru měníme ve frekvenčním rozsahu udaném výrobcem v technické dokumentaci. Čítač musí spolehlivě měřit v celém frekvenčním rozsahu.

Na třech frekvencích odpovídajících začátku, středu a konci frekvenčního rozsahu čítače určíme skutečnou citlivost, tj. nejnižší vstupní úroveň signálu, při níž čítač ještě spolehlivě měří. Za tím účelem snižujeme postupně úroveň signálu, až začne čítač vysazovat. Poté úroveň signálu mírně zvýšíme, až dosáhneme hodnoty, při níž čítač začne stabilně měřit. Tuto úroveň změříme a zapíšeme společně s příslušnou frekvencí. Kontrolu frekvenčního rozsahu provedeme pro maximální úroveň vstupního signálu podle údajů výrobce, a to tak, že frekvenci signálu syntezátoru postupně snižujeme (zvyšujeme) a nalezneme tak nejnižší (nejvyšší) frekvenci, při níž čítač spolehlivě měří.

Podle této metodiky zkontrolujeme citlivost všech měřících vstupů čítače s ohledem na jeho parametry udávané výrobcem a to jak pro vzestupnou, tak i pro sestupnou hranu signálu.

### 9.4.2 Kontrola vstupní citlivosti při impulsním signálu

V zapojení měřicího pracoviště podle obr. 7 přepneme kalibrovaný čítač do režimu měření frekvence, přepínač citlivosti příslušného vstupu přepneme do polohy maximální citlivosti, zvolíme stejnosměrnou vazbu vstupu a odpovídající vstupní impedanci podle vlastností výstupu.

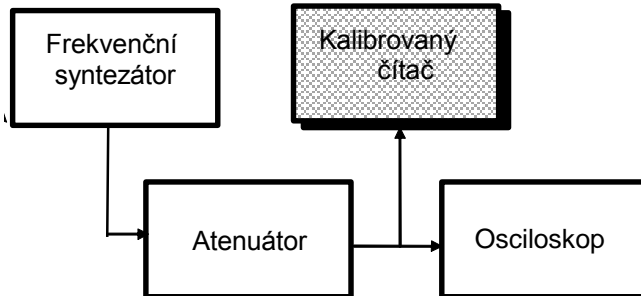
Nastavíme délku výstupního impulsu impulsního generátoru rovnou minimální délce vstupního impulsu čítače podle technických vlastností kalibrovaného čítače a jeho rozkmit asi  $1 V_{ss}$ , který měříme osciloskopem. Opakovací frekvenci impulsů nastavíme na začátek frekvenčního rozsahu čítače.

Nastavíme spouštěcí úroveň, při níž čítač spolehlivě měří.

Poté pomocí atenuátoru postupně snižujeme rozkmit impulsu a současně snižujeme spouštěcí úroveň tak, aby čítač spolehlivě měřil. Takto pokračujeme až do stavu, kdy čítač přestane mě-

řit. Poté úroveň impulsů lehce zvýšíme, a nastavíme vhodnou spouštěcí úroveň, při níž čítač spolehlivě měří. Takto nastavenou minimální úroveň impulsů změříme osciloskopem a společně s nastavenou opakovací frekvencí zapíšeme.

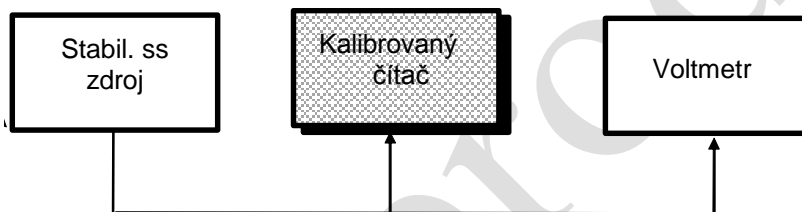
Popsané měření opakujeme pro frekvence signálu odpovídající středu a konci frekvenčního rozsahu čítače a pro vzestupnou a sestupnou hranu signálu.



Obr. 7 Kontrola vstupní citlivosti čítače.

### 9.5 Kontrola spouštěcí úrovně

Spouštěcí úrovně čítače kontrolujeme pomocí stabilizovaného regulovaného zdroje stejnosměrného napětí a voltmetru podle obr. 8.



Obr. 8 Kontrola spouštěcích úrovní čítače

Kontrolovaný čítač přepneme do režimu prostého čítání impulsů a zvolíme stejnosměrnou vazbu vstupu. Ke vstupu připojíme zdroj ss napětí.

Kontrola mezních hodnot spouštěcí úrovně:

Prvek pro nastavení spouštěcí úrovně nastavíme do polohy odpovídající maximální kladné spouštěcí úrovni, a zvolíme vzestupnou spouštěcí hranu. Pomalu zvyšujeme kladné napětí stabilizovaného zdroje, přiváděné na vstup čítače a zaznamenáme jeho hodnotu, při níž čítač započítal 1 impuls. Napětí stáhneme do nuly. Popsaný úkon opakujeme pětkrát a z pěti údajů naměřeného spouštěcího napětí vypočteme střední hodnotu  $U_{max}$ .

Pak příslušným prvkem čítače nastavíme minimální (maximální zápornou) spouštěcí úroveň a zvolíme sestupnou spouštěcí hranu.

Z nulové hodnoty pomalu zvyšujeme záporné napětí stabilizovaného zdroje, přiváděné na vstup čítače a zaznamenáme jeho hodnotu, při níž čítač započítal 1 impuls. Napětí stáhneme do 0. Popsaný úkon opakujeme pětkrát a z pěti údajů naměřeného spouštěcího napětí vypočteme střední hodnotu  $U_{min}$ .

Musí platit

$$U_{sp\ min} \geq U_{min}$$

$$U_{sp\ max} \geq U_{max}$$

kde  $U_{sp\ max}$  a  $U_{sp\ min}$  je příslušné minimální a maximální spouštěcí napětí udávané výrobcem čítače.

Kontrola spouštěcích úrovní uvnitř rozsahu:

Tato kontrola se provádí pouze u čítačů, které jsou vybaveny:

- výstupem spouštěcího napětí pro připojení kontrolního voltmetru,
- digitální indikací nastaveného spouštěcího napětí.

V případě a) příslušným ovládacím prvkem postupně nastavíme hodnotu spouštěcího napětí uvnitř rozsahu a tuto hodnotu nastaveného napětí změříme multimetrem na kontrolním výstupu. Pak provedeme měření jako při kontrole mezní hodnoty spouštěcí úrovně. Měření provedeme ve třech bodech rozsahu spouštěcí úrovně.

Rozdíl hodnoty  $U_k$  naměřené na kontrolním výstupu a hodnoty  $U$ , při níž došlo ke spuštění

$$\Delta U = U_k - U \leq \Delta U_{sp} ,$$

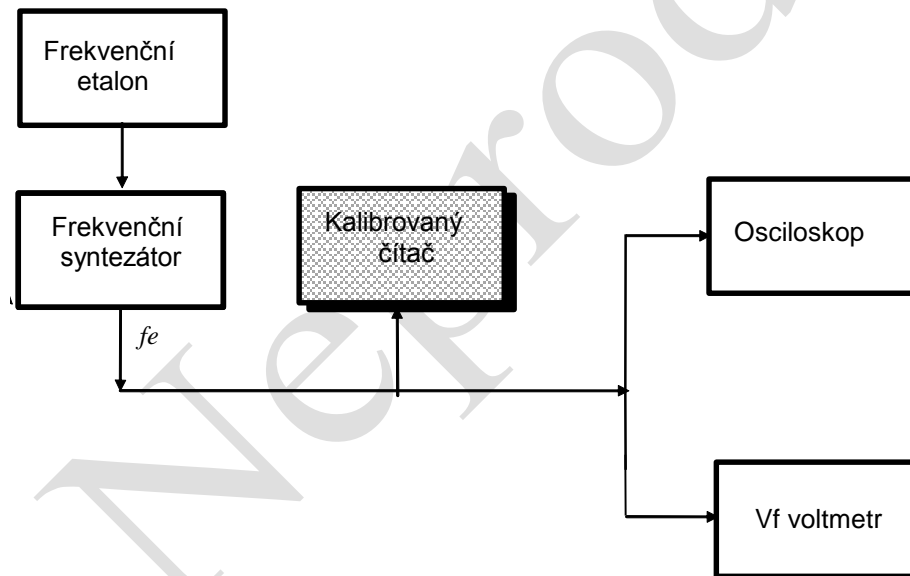
kde  $\Delta U_{sp}$  je hodnota udaná výrobcem čítače.

V případě b) postupujeme stejně jako v případě a) pouze s tím rozdílem, že nastavené spouštěcí napětí neměříme multimetrem, ale odečítáme na displeji čítače.

## 9.6 Stanovení relativní chyby čítače při měření frekvence

### Metoda měření etalonové frekvence

Kontrolovaným čítačem měříme frekvenci syntezátoru řízeného etalonem frekvence na měřícím pracovišti podle obr. 9.



Obr. 9 Měřící pracoviště na kalibraci čítače v režimu měření frekvence

Měření provádíme pro 3 hodnoty frekvence  $f_e$  (na začátku, uprostřed a na konci frekvenčního rozsahu kalibrovaného čítače) a rovněž pro 3 úrovně vstupního signálu na začátku, uprostřed a na konci napětíového rozsahu vstupních signálů.

Relativní chybu  $\delta f$  čítače v režimu měření frekvence vypočteme ze vzorce:

$$\delta f = \frac{C - f_e}{f_e},$$

kde  $C$  je údaj čítače.

### Komparační metoda

Měření frekvence signálu pomocného generátoru (autonomního syntezátoru) provádíme za podmínek uvedených v 9.3.1, a to současně kontrolovaným a referenčním čítačem.

Výslednou relativní chybu  $\delta f$  čítače v režimu měření frekvence vypočteme ze vzorce

$$\delta f = \frac{C - C_e}{C_e},$$

kde  $C$  je údaj kontrolovaného čítače a  
 $C_e$  je údaj referenčního čítače.

### 9.7 Stanovení chyby čítače v režimu měření délky periody.

#### Metoda měření etalonové periody

Kalibrovaným čítačem měříme periodu signálu syntezátoru řízeného etalonem frekvence na měřícím pracovišti podle obr. 5.

Měření provádíme pro 3 hodnoty periody  $T_e$  (na začátku, uprostřed a na konci) frekvenčního rozsahu kontrolovaného čítače a rovněž při 3 úrovních vstupního signálu na začátku, uprostřed a na konci napěťového rozsahu vstupních signálů a pro všechny hodnoty násobícího činitele počtu měřených period. Relativní chybu  $\delta T$  čítače v režimu měření délky periody vypočteme ze vzorce

$$\delta T = \frac{C - T_e}{T_e},$$

kde  $C$  je údaj čítače a  
 $T_e$  je perioda etalonového signálu.

### Komparační metoda

Měříme periodu signálu generátoru (syntezátoru) za podmínek uvedených v 9.3.1 a to současně kalibrovaným a referenčním čítačem.

Výslednou relativní chybu  $\delta T$  čítače v režimu měření délky periody vypočteme ze vzorce

$$\delta T = \frac{C - C_e}{C_e},$$

kde  $C$  je údaj kontrolovaného čítače a  
 $C_e$  je údaj referenčního čítače.

### 9.8 Kontrola funkce čítače v režimu prostého čítání impulsů

Uvedeme čítač do režimu prostého čítání impulsů a na jeho vstup přivádíme signál z výstupu frekvenčního syntezátoru nebo generátoru.

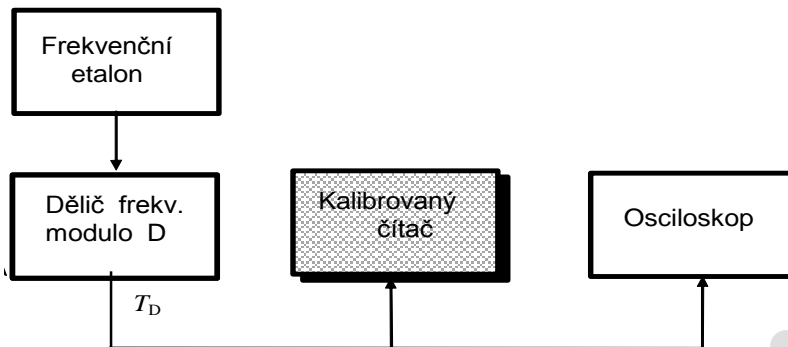
Frekvenci signálu nastavíme dostatečně nízkou (např. 5 Hz) a kontrolujeme změnu číselného údaje na nejnižším řádu displeje. Údaj má rovnoměrně narůstat o jedničku od 0 do 9.

Poté podle potřeby frekvenci signálu postupně zvyšujeme a stejným způsobem kontrolujeme funkci na ostatních řádech displeje.

### 9.9 Stanovení relativní chyby čítače při jednokanálovém měření šířky impulsu.

**Měření šířky impulsu etalonové délky**

Sestavíme měřicí pracoviště podle obr. 10. Nastavením požadovaného dělicího poměru děliče frekvence napájeného etalonovým signálem vytvoříme impuls požadované etalonové délky  $T_D$ .



Obr. 10 - Měření šířky impulsu

Signál z výstupu děliče přivedeme na příslušný vstup kalibrovaného čítače, zkontrolujeme osciloskopem jeho tvar a rozkmit a nastavíme stejnosměrnou vazbu vstupu, spouštěcí úroveň vstupu nastavíme rovnou polovině rozkmitu měřeného impulsu.

Měření provedeme nejméně ve třech bodech měřicího rozsahu čítače.

Absolutní chybu  $\Delta T_D$  čítače při měření délky impulsu stanovíme ze vzorce:

$$\Delta T_D = C - T_D,$$

kde  $C$  je údaj čítače.

Relativní chybu  $\delta T_D$  čítače při měření délky impulsu stanovíme ze vzorce

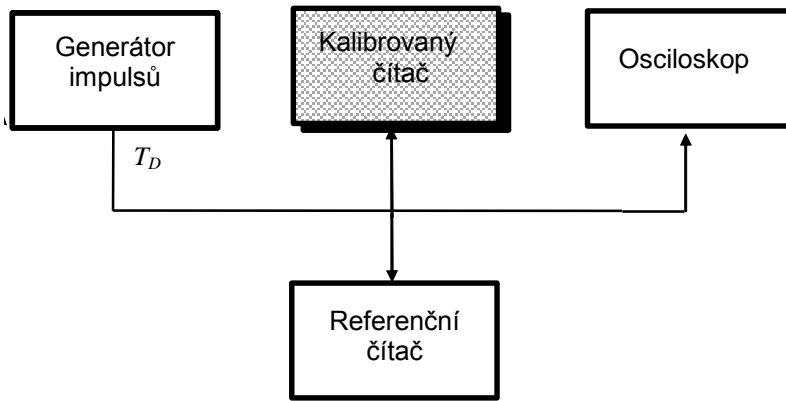
$$\delta T_D = \frac{\Delta T_D}{T_D}$$

**Komparační měření šířky impulsu obecné délky**

Délku pravoúhlého impulsu signálu, snímaného ze zdroje impulsů (impulsní generátor, dělič frekvence apod.) měříme současně kalibrovaným a referenčním čítačem. Sestavíme měřicí pracoviště podle obr. 11 a nastavíme podmínky měření a to stejné pro oba čítače.

Měření provádíme nejméně ve třech bodech měřicího rozsahu kalibrovaného čítače.





Obr. 11 Komparativní jednokanálové měření délky impulsu

Absolutní chybu  $\Delta T_D$  čítače při měření délky impulsu stanovíme ze vzorce

$$\Delta T_D = C - C_e ,$$

kde  $C$  je údaj kalibrovaného čítače,  
 $C_e$  je údaj etalonového čítače.

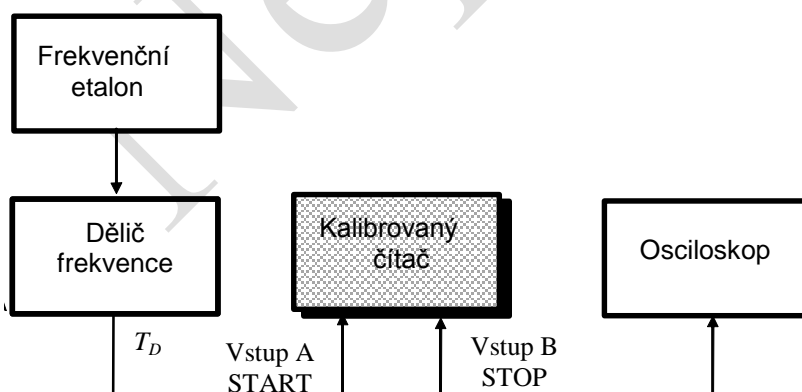
Relativní chybu  $\delta T_D$  čítače při měření délky impulsu stanovíme ze vzorce

$$\delta T_D = \frac{\Delta T_D}{T_D}$$

## 9.10 Stanovení chyby čítače při dvoukanálovém měření délky časového intervalu

### 9.10.1 Měření časového intervalu etalonové délky

Sestavíme měřicí pracoviště podle obr. 12. Nastavením požadovaného dělicího poměru děliče frekvence napájeného etalonovým signálem vytvoříme impuls požadované etalonové délky  $T_D$ . Měřený impuls přivádíme současně na vstupy A (START) a B (STOP) kalibrovaného čítače.



Obr. 12 Dvoukanálové měření délky časového intervalu

Osciloskopem zkontrolujeme tvar a rozkmit měřeného impulsního signálu. Nastavíme stejnosměrnou vazbu obou vstupů, spouštěcí úroveň vstupů A a B nastavíme rovnou polovině rozkmitu měřeného impulsu. Má-li měřený impuls kladnou polaritu, pak nastavíme vzestupnou spouštěcí hranu na vstupu A a sestupnou spouštěcí hranu na vstupu B.

V případě záporné polarity měřeného impulsu je nastavení spouštěcích hran opačné.

Měření provedeme nejméně ve třech bodech měřicího rozsahu čítače.

Absolutní chybu  $\Delta T_D$  čítače při dvoukanálovém měření délky časového intervalu stanovíme ze vzorce:

$$\Delta T_D = C - T_D$$

kde  $C$  je údaj čítače.

Relativní chybu  $\delta T_D$  čítače při měření délky impulsu stanovíme ze vzorce:

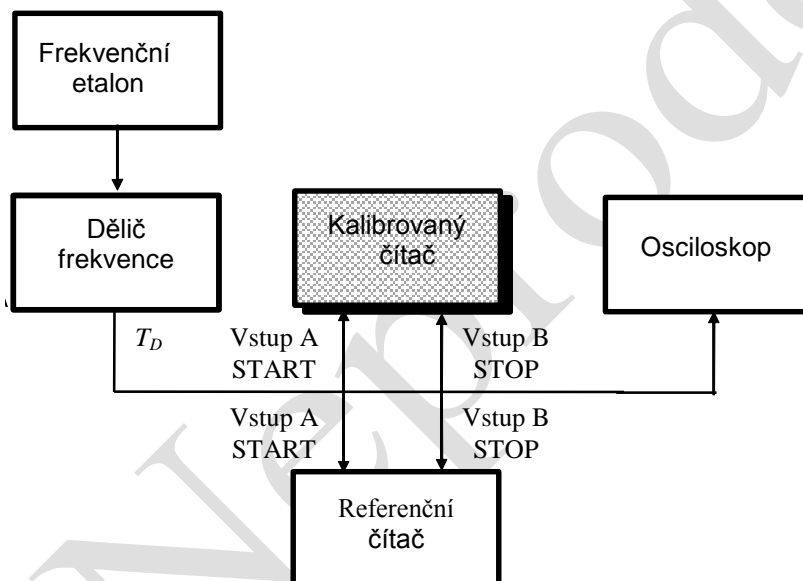
$$\delta T_D = \frac{\Delta T_D}{T_D}$$

### 9.10.2 Dvoukanálové komparační měření délky časového intervalu

Měření provádíme komparační metodou, tj. současným měřením délky impulsu kontrolovaným a referenčním čítačem v režimu dvoukanálového měření délky časového intervalu.

Délku časového intervalu signálu, snímaného ze zdroje impulsů (impulsní generátor, dělič frekvence apod.) měříme současně kontrolovaným a referenčním čítačem. Sestavíme měřicí pracoviště podle obr. 13 a nastavíme podmínky měření podle bodu 9.10.1., a to stejné pro oba čítače.

Měření provádíme nejméně ve třech bodech měřicího rozsahu kontrolovaného čítače.



Obr. 13. Komparační měření délky časového intervalu

Absolutní chybu  $\Delta T_D$  čítače při měření délky časového intervalu stanovíme ze vzorce

$$\Delta T_D = C - C_e ,$$

kde  $C$  je údaj kalibrovaného čítače,

$C_e$  je údaj referenčního čítače.

Relativní chybu  $\delta T_D$  čítače při měření délky impulsu stanovíme ze vzorce

$$\delta T_D = \frac{\Delta T_D}{C_e}$$

**9.11 Stanovení chyby čítače při měření převrácené hodnoty časového intervalu**

Kalibrovaný čítač přepneme do režimu měření převrácené hodnoty délky časového intervalu a podle metodiky odst. 9.10 změříme délku tohoto časového intervalu  $T_e$  referenčním čítačem a současně změříme převrácenou hodnotu téhož časového intervalu pomocí kalibrovaného čítače. Měření provedeme pro 3 hodnoty délky časového intervalu v rozsahu měření kalibrovaného čítače.

Absolutní chybu čítače při měření převrácené hodnoty délky časového intervalu vypočteme ze vzorce

$$\Delta f = C - \frac{1}{T_e},$$

kde  $C$  je údaj kontrolovaného čítače.

Relativní chyba

$$\delta f = \Delta f \cdot T_e$$

**9.12 Stanovení chyby čítače při měření délky vzestupné a sestupné hrany**

Sestavíme měřicí pracoviště podle obr. 13. Kalibrovaný i referenční čítač přepneme do režimu měření délky vzestupné (sestupné) hrany. Jako zdroj impulsů použijeme generátor impulsů zadaného tvaru. Na generátoru nastavíme výstupní impulsy pilového tvaru s délkou vzestupné (sestupné) hrany odpovídající přibližně středu měřicího rozsahu kalibrovaného čítače. Nastavíme rozkmit impulsu rovný minimální hodnotě podle údajů výrobce.

Tvar a rozkmit impulsů kontrolujeme pomocí osciloskopu.

Délku vzestupné (sestupné) hrany impulsů v rozsahu spouštěcích úrovní podle dokumentace kalibrovaného čítače (obvykle 20 % a 80 % rozkmitu impulsu) měříme současně kalibrovaným a referenčním čítačem. Stejně rozhodovací úrovně obou čítačů nastavíme podle voltmetru nebo displeje čítačů. Pokud si kalibrovaný čítač nastavuje rozhodovací úrovně automaticky, nastavíme tytéž úrovně na referenčním čítači. Chybu měření délky vzestupné (sestupné) hrany vypočteme ze vzorce

$$\Delta t = C_k - C_R,$$

kde  $\Delta t$  - délka vzestupné (sestupné) hrany,

$C_k$  - údaj na displeji kalibrovaného čítače,

$C_R$  - údaj na displeji referenčního čítače.

Popsané měření a výpočet zopakujeme pro délku vzestupné (sestupné) hrany impulsu, odpovídající začátku a konci měřicího rozsahu kalibrovaného čítače a pro rozkmit impulsu rovný dvojnásobku minimálního rozkmitu.

**9.13 Stanovení chyby čítače při měření strmosti hrany impulsu**

Sestavíme měřicí pracoviště podle obr. 13. Kalibrovaný čítač přepneme do režimu měření strmosti vzestupné (sestupné) hrany impulsu a referenční čítač přepneme do režimu měření délky vzestupné (sestupné) hrany. Jako zdroj impulsů použijeme generátor impulsů zadaného tvaru. Na generátoru nastavíme výstupní impulsy pilového tvaru se strmostí vzestupné (sestupné) hrany odpovídající přibližně středu měřicího rozsahu kalibrovaného čítače.

Tvar impulsů a strmost hran kontrolujeme pomocí osciloskopu.

Strmost vzestupné (sestupné) hrany impulsů v rozsahu spouštěcích úrovní podle dokumentace kalibrovaného čítače (obvykle 20 % a 80 % rozkmitu impulsu) měříme kalibrovaným čítačem a délku příslušné hrany při stejných rozhodovacích úrovních měříme referenčním čítačem. Shodné rozhodovací úrovně obou čítačů nastavíme podle voltmetru nebo displeje čítačů. Po-

kud si kalibrovaný čítač nastavuje rozhodovací úroveň automaticky, nastavíme tytéž úroveň na referenčním čítači.

Chybu měření strmosti vzestupné (sestupné) hrany vypočteme ze vzorce:

$$\Delta s = c_k - s_R,$$

Kde:

$\Delta s$  - chyba měření strmosti hrany

$C_k$  - údaj na displeji kalibrovaného čítače

$s_R$  - strmost hrany stanovená pomocí referenčního čítače.

Strmost  $s_R$  vypočteme ze vzorce

$$s_R = \frac{\Delta U_{sp}}{C_R}$$

Kde:

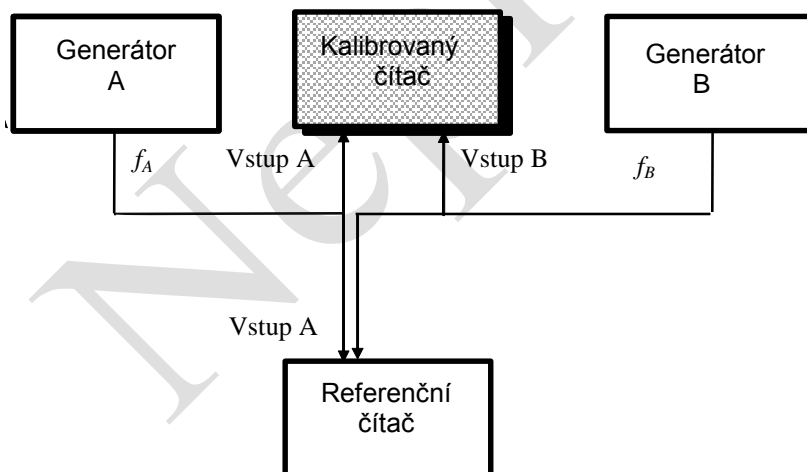
$\Delta U_{sp}$  - rozdíl nastavených spouštěcích úrovní referenčního čítače,

$C_R$  - údaj na displeji referenčního čítače (délka hrany)

Popsané měření a výpočet zopakujeme pro strmost vzestupné (sestupné) hrany impulsu odpovídající začátku a konci měřicího rozsahu kalibrovaného čítače a pro rozkmit impulsu rovný dvojnásobku minimálního rozkmitu.

#### 9.14 Stanovení chyby čítače při měření poměru frekvencí

Sestavíme měřicí pracoviště podle obr. 14. Kalibrovaný čítač přepneme do režimu měření poměru frekvencí a referenční čítač do režimu měření frekvence. Na vstupy A a B kalibrovaného čítače přivedeme signály a frekvence  $f_A$  a  $f_B$  v rozsahu udaném výrobcem. Po nastavení spouštěcích úrovní, citlivosti a vstupní impedance kanálů A a B kalibrovaného čítače a kanálu A referenčního čítače podle 9.3.1 provedeme vlastní měření poměru frekvencí ve třech bodech měřicího rozsahu kalibrovaného čítače. Při každém měření poměru frekvencí prováděným kalibrovaným čítačem současně změříme frekvence  $f_A$  a  $f_B$  referenčním čítačem a vypočteme jejich poměr  $(A/B)_R$ .



Obr. 14 Komparační měření poměru frekvencí

Chybu měření poměru frekvencí  $\Delta(f_A/f_B)$  vypočteme ze vzorce:

$$\Delta(f_A/f_B) = C - \Delta(f_A/f_B)_R,$$

Kde:

$C$  - údaj na displeji kontrolovaného čítače.

## 10 Vyhodnocení zkoušky

### 10.1 Postup vyhodnocení

Vyhodnocení spočívá v porovnávání zjištěných a dovolených chyb.

Při kontrole hodnot čítače nesmí být na žádném zkoušeném bodě rozdíl mezi frekvencí nastavenou na kalibrovaném čítači a příslušející konvenčně pravou hodnotou frekvence větší než rozdíl odpovídající dovolené základní chyby kalibrovaného čítače.

### 10.2 Rozhodnutí o výsledku kalibrace

Na základě vyhodnocení zkoušených bodů uvedených v kapitole 7 rozhodne vedoucí kalibrační laboratoře, zda kalibrovaný přístroj vyhovuje nebo nevyhovuje všem požadavkům na něj kladeným. Výsledek rozhodnutí je uveden v kalibračním listu.

### 10.3 Postup v případě neshody

V případě, že kalibrovaný čítač nevyhověl na některém zkoušeném bodě požadavkům na něj kladeným o méně, než 50 % dovolené chyby může jej vedoucí kalibrační laboratoře přeřadit do třídy odpovídající dvojnásobku dovolené základní chyby čítače. Přeřazení je podmíněno tím, že kalibrační laboratoř má prověřeno, že do příští kalibrace se nezvýší základní chyba zkoušeného přístroje na více než dvojnásobek její dovolené základní chyby. V tom případě však musí být změna v zařazení viditelně označena, obvykle štítkem na přední části čítače a v kalibračním listu musí být učiněn příslušný záznam.

Nejsou-li splněny výše uvedené podmínky nebo nevyhověl-li kalibrovaný čítač jiným požadavkům, předává vedoucí kalibrační laboratoře objednateli kalibrace návrh na opravu nebo na vyřazení přístroje.

## 11 Kalibrační list

### 11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list musí 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 čítače,
- e) datum přijetí čítače ke kalibraci, datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 6.1.3/01/15),
- g) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),
- h) měřidla použitá při kalibraci,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření,
- j) výsledky měření a s nimi spjatou nejistotu měření nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
- k) jméno pracovníka, který čítač kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

### Další doporučení:

Tištěné výstupy protokolů o zkouškách a kalibračních listů mají též obsahovat číslo stránky a celkový počet stránek.

Doporučuje se, aby laboratoře začlenily vyjádření stanovující, že záznam o měření nebo kalibrační list nesmějí být bez písemného souhlasu laboratoře reprodukovány jinak než celé.

Kalibrační list se musí vztahovat pouze k veličinám a výsledkům kalibrací a funkčních zkoušek. Jestliže bylo vypracováno vyjádření o souladu se specifikací, musí být identifikováno, které články specifikace jsou splněny a které nejsou splněny.

Pokud je vypracováno vyjádření o shodě se specifikací, přičemž jsou vynechány výsledky měření a s nimi spojené nejistoty, musí laboratoř tyto výsledky zaznamenat a udržovat jejich záznamy pro další možnou potřebu.

Pokud jsou vypracována vyjádření o shodě, musí být vzata v úvahu nejistota měření.

Jestliže se přístroj, který se má kalibrovat, bude justovat nebo opravovat, musí být uvedeny výsledky kalibrace získané před a po justování nebo opravě, pokud jsou k dispozici.

Kalibrační list nesmí obsahovat žádné doporučení týkající se intervalu kalibrace s výjimkou doporučení, které bylo odsouhlaseno zákazníkem.

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

### 11.2 Umístění kalibrační značky

Po provedení kalibrace se přístroj opatří kalibrační značkou – štítkem, na němž je uvedeno datum provedené kalibrace, podpis pracovníka, který prováděl kalibraci a identifikace kalibrační laboratoře.

V případě, že je výsledek kalibrace nevyhovující, označí se měřidlo štítkem NEVYHOVUJE. Kalibrační štítek je třeba na přístroj umístit viditelně.

### 11.3 Protokolování

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

### 11.4 Převzetí ke kalibraci a předání čítače po kalibraci

Převzetí čítače ke kalibraci stvrzuje pracovník kalibrační laboratoře svým podpisem na kopii objednávky nebo na formuláři k tomu určeném.

Po skončení kalibrace čítače stvrzuje zákazník svým podpisem na příslušném formuláři nebo do knihy zakázek jeho převzetí.

V obou případech se k podpisům připojují příslušná data.

### 11.5 Reklamace

V případě, že objednatel kalibrace podá stížnost na provedenou kalibraci, tuto přebírá vedoucí kalibrační laboratoře, v době nepřítomnosti jeho zástupce. Stížnost se může týkat rozsahu nebo správnosti provedené kalibrace, úplnosti nebo správnosti předaného kalibračního listu, úplnosti vráceného čítače, případně výše fakturace za provedenou kalibraci.

Povinností vedoucího kalibrační laboratoře je analyzovat stížnost, na jejím základě učinit příslušná opatření a s nimi bez prodlení seznámit objednatele kalibrace.

Nebyly-li při analýze shledány závady, je o tom objednatel kalibrace informován. Pokud je stížnost oprávněná a jedná se o rozsah nebo správnost kalibrace, provede laboratoř novou, bezplatnou kalibraci a vystaví nový kalibrační list. V ostatních případech oprávněné stížnosti se provedou příslušná opatření.

## 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 nebo metrolog organizace).

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

### 13.1 Rozdělovník

Kalibrační postup		převzal		
výtisk číslo	obdrží útvar	jméno	podpis	datum

### 13.2 Úprava, schválení

Kalibrační postup	jméno	podpis	datum
upravil			
úpravu schválil			

### 13.3 Revize

strana	popis změny	zpracoval	schválil	datum

## 14 Stanovení nejistoty při měření (příklad výpočtu)

### Výpočet nejistoty měření

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

Příklad:

Frekvence krystalového oscilátoru 5 MHz měřená čítačem byla stanovena měřením periody sinusového signálu 1,5 V eff. Při počtu period  $1 \cdot 10^6$  byla na displeji čítače odečtena hodnota  $C = 0,199\,995\,80 \mu\text{s}$ . Relativní chyba časové základny čítače  $\delta f = -3,8 \cdot 10^{-7}$  a její stabilita pro  $\tau = 0,1 \text{ s}$  až  $10 \text{ s}$  je charakterizována středněkvadratickou odchylkou  $4 \cdot 10^{-10}$ . Nominální frekvence časové základny je 100 MHz. Hodnota  $U_0$  pro výpočet chyby spouštění je  $400 \mu\text{V}$ , poměr signál/šum = 40 dB.

Máme:

- délka měrného intervalu  $\tau = M \cdot T(\tau) = 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 0,2 \text{ s}$ ,
- kvantizační chyba (hodnota posledního indikovaného místa)  $1 \cdot 10^{-14} \text{ s}$ , a tedy

$$\sigma_{LSD} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{\sqrt{3}} = 5,8 \cdot 10^{-15}$$

- Výpočet chyby spouštění

Strmost hrany sinusového napětí

$$S = U_{\text{eff}} \cdot 2\pi f \cdot \sqrt{2} = 1,5 \cdot 1,41 \cdot 2\pi \cdot 5 \cdot 10^6 = 6,6 \cdot 10^8 \text{ V/s}$$

Efektivní napětí šumu: pro poměr s/š = 40 dB je  $U_n = U_{\text{sig}}/100 = 1,5/100 = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ V}$ .

Po dosazení dostaneme

$$\sigma_{SP} = \frac{\sqrt{(400 \cdot 10^{-6})^2 + (1,5 \cdot 10^{-2})^2}}{6,6 \cdot 10^8} = 2,3 \cdot 10^{-11} \text{ s}$$

- Vliv nestability frekvence časové základny

Ze zadání plyne, že pro  $\tau = 0,2 \text{ s}$  je  $\sigma_f(\tau) = 4 \cdot 10^{-10}$

Celková nejistota ve smyslu středněkvadratické odchylky

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{(6,1 \cdot 10^{-11})^2 + (5,8 \cdot 10^{-15})^2}{0,2^2} + (4 \cdot 10^{-10})^2} = 5,0 \cdot 10^{-10}$$



Výpočet frekvence:

$$f(\tau) = \frac{1}{0,19999580 \cdot 10^{-6}} (1 + 3,8 \cdot 10^{-7}) = 5\,000\,106,9022 \text{ Hz}$$

Výsledkem měření je frekvence (její střední hodnota v intervalu 0,2 s)

$$f(\tau) = 5\,000\,106,9022 \text{ Hz} \pm 0,0025 \text{ Hz},$$

nebo při relativním vyjádření nejistoty

$$f(\tau) = 5\,000\,106,9022 \text{ Hz s nejistotou} \pm 5,0 \cdot 10^{-10}$$

## 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.

### Změny proti předchozímu vydání

Tento kalibrační postup byl upraven s přihlédnutím k novým metrologickým předpisům a normám a podle připomínek uživatelů. Dále byl doplněn o příklad stanovení nejistoty měření při kalibraci a validaci použité metody.

### Upozornění

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

## 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 č. 1 Krystalový oscilátor

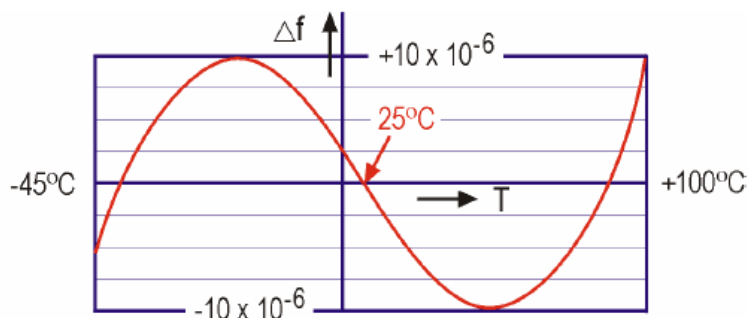
Krystalový oscilátor je základní a nejrozšířenější prvek v oblasti metrologie frekvence. Vyskytuje se ve velmi mnoha provedeních a je používán v každém čítači a nejen v přesných etalonech, ale i v mnoha obyčejných přístrojích, stopkách i obyčejných hodinách a hodinkách.



**Obr.15:** Křemenné krystaly pro etalony frekvence

Rozeznáváme 3 základní typy krystalových oscilátorů.

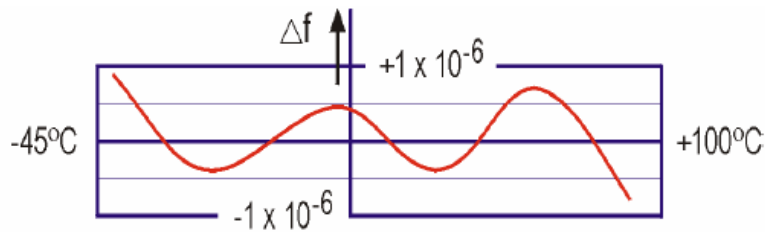
**XO** krystalový oscilátor má stabilitu 1 až 5 ppm, nejlepší mají 0,1 ppm. Používá se v levných čítačích, počítačích, k řízení mikroprocesorů apod.



**Obr.16:** Teplotní závislost frekvence krystalového oscilátoru XO

**TCXO** teplotně kompenzovaný krystalový oscilátor má stabilitu 0,01 až 1 ppm, nejlepší mají 0,001 ppm.

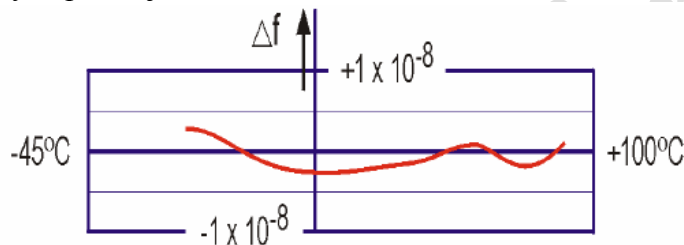
Používá se v méně přesných přístrojích.



**Obr.17:** Závislost frekvence krystalového oscilátoru TCXO

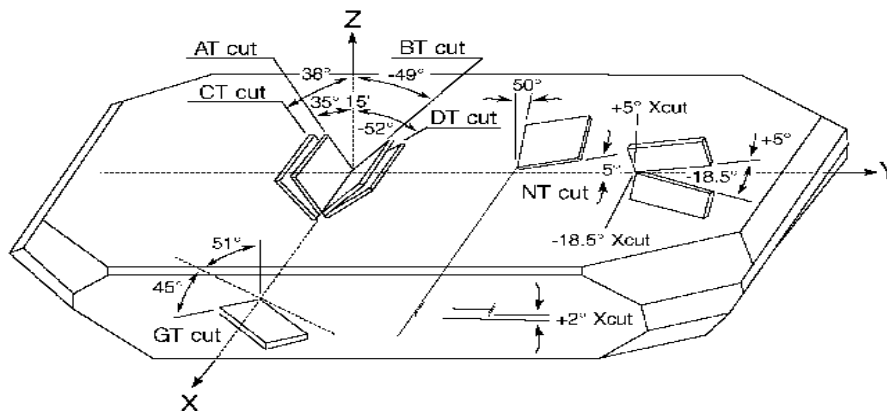
**OCXO** Termostatizovaný (oven) krystalový oscilátor má stabilitu 0,01 až 1 ppm, nejlepší mají 0,0001 ppm.

Používají se v přesných přístrojích a etalonech frekvence.



**Obr.18:** Závislost frekvence krystalového oscilátoru OCXO

Používá se několik druhů řezu podle orientace k osám krystalu. Nazývají se podle orientace řezu jako krystaly AT, BT, GT, NT, jak ukazuje obr. 5. Vlastnosti závisí na orientaci řezu proti rovinám krystalu.



**Obr.19:** Orientace různých typů řezů v krystalu pro oscilátory podle lit. [8]

- AT řez je nejužívanější pro hodinové oscilátory a TCXO
- BT řez se užívá nejčastěji pro hodinové oscilátory
- SC řez se užívá nejčastěji pro vysoce stabilní OCXO a digitální TCXO

Vlastnosti závisí na orientaci řezu proti rovinám krystalu. Teplotní charakteristika samotného krystalu má tvar S křivky, kde velikost vrcholů lze při výrobě ovlivnit malými změnami úhlu řezu. Termostat se nastavuje na bod obratu S křivky, který bývá u AT řezů na teplotě kolem 50°C, což je teplota vyhovující pro praxi (dostatečně vyšší než pracovní teplota a ne příliš vysoká, protože vysoké teploty urychlují stárnutí).

Vlastnosti krystalu jsou určeny i jeho mechanickým provedením. Ideální montáž nemá vliv na kmitající krystal. Ideální montáž ale neexistuje. Příklady kontaktování krystalu ukazují obrázky 6 a 7.



**Obr.20:** Pružinový kontakt na krystal



**Obr.21:** Perkový kontakt na krystal

Vlastnosti krystalového rezonátoru mimo provedení ovlivňuje kvalita (znečištění, bublinky) krystalu a elektrod při výrobě, ale i stárnutí, nárazy a vibrace při užití.

Vlastnosti etalonu frekvence hodnotíme parametry stárnutí a krátkodobé nestability. Stárnutí je systematický jev, sledovaný za dlouhý čas (dny až roky), kdežto šum a krátkodobá nestabilita se hodnotí za dobu sekund až minut. Pokud sledujeme stabilitu po dobu hodin, projevuje se kombinace obou jevů a má většinou charakter typu náhodné procházky.

CCIR přijalo definice, že stárnutí je systematická změna frekvence s časem vlivem interních změn v oscilátoru. Při tom se předpokládá, že podmínky prostředí, napájení a podobně, jsou konstantní. Drift je systematická změna frekvence oscilátoru s časem a je vyvolán kombinací stárnutí, změn prostředí i ostatních faktorů na oscilátor.

Stárnutí je to, co se specifikuje a měří při kalibraci. Drift je to, co se projevuje při provozu.

Tyto definice jsou uvedeny podle CCIR Recommendation No. 686, "[TF.686-1] Glossary," CCIR 17th Plenary Assembly, Vol. VII, "Standard Frequency and Time Signals (Study Group 7)," 1990. Consultative Committee on International Radio (CCIR); viz International Telecommunications Union, General Secretariat - Sales Section, Place des Nations, CH-1211 Geneva, Switzerland. <http://www.itu.int/itudoc/itu-r/rec/tf/>

### Krystalové oscilátory pro přesné etalony frekvence

Pro přesné měření, například pro čítače, se používají krystalové oscilátory dražší. Přehled základních typů a jejich vlastností v porovnání s kvantovými etalony ukazuje tabulka č. 1.

	Krystalové oscilátory			Atomové oscilátory		
	TCXO	MCXO	OCXO	Rubidium	RbXO	Cesium
roční stabilita	$2 \times 10^{-6}$	$6 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-10}$	$7 \times 10^{-10}$	$2 \times 10^{-11}$
drift za rok	$5 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-9}$	$2 \times 10^{-10}$	$2 \times 10^{-10}$	0
teplotní stabilita	$5 \times 10^{-7}$	$3 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-9}$	$3 \times 10^{10}$	$5 \times 10^{10}$	$2 \times 10^{11}$
(teplotní rozsah °C)	(-55 +85)	(-55 +85)	(-55 +85)	(-55 +68)	(-55 +85)	(-28 +65)
stabilita, $\sigma_y(\tau)$ pro ( $\tau=1s$ )	$1 \times 10^{-9}$	$3 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-12}$	$3 \times 10^{-12}$	$5 \times 10^{-12}$	$5 \times 10^{-11}$
rozměr (cm <sup>2</sup> )	10	50	20-200	800	1200	6000
ohřev (minut) pro frekv. v řádu	0.1 $1 \times 10^{-6}$	0.1 $2 \times 10^{-8}$	4 $1 \times 10^{-8}$	3 $5 \times 10^{-10}$	3 $5 \times 10^{-10}$	20 $2 \times 10^{-11}$
příkon (W), (při nejnižší teplotě)	0.05	0.04	0.6	20	0.65	30
cena (~\$)	100	1,000	2,000	8,000	10,000	40,000

**Tab.1:**

Zkratky označují typy oscilátorů

<b>TCXO</b>	krystalový oscilátor teplotně kompenzovaný
<b>MCXO</b>	krystalový oscilátor řízený mikropočítačem
<b>OCXO</b>	krystalový oscilátor v termostatu
<b>RbXO</b>	krystalový oscilátor (např. typu MCXO), synchronizovaný rubidiem

Podrobnosti o obecných problémech krystalových oscilátorů je možné nalézt v Fundamentals of Quartz Oscillators, Application Note 200-2 Agilent.

Vlastnosti oscilátorů Agilent podle Crystal Oscillator Testing White Paper Agilent ukazuje tabulka č. 1 (podle označení Agilent).

Table 7. Typical specifications of the five types of oscillators

Type	Typical aging	Typical shift for 5 °C	Allowable offset	Typical warm-up	Allan variance (T = 1 s)
XO	$3 \times 10^{-3}$ per month	$5 \times 10^{-6}$	60 Hz	30 minutes	$1 \times 10^{-9}$
TCXO	$1 \times 10^{-3}$ per month	$1 \times 10^{-6}$	13 Hz	3 hours	$1 \times 10^{-10}$
OCXO	$5 \times 10^{-10}$ per day	$5 \times 10^{-10}$	150 MHz	3 days	$5 \times 10^{-12}$
Rubidium	$1 \times 10^{-11}$ per month	$5 \times 10^{-12}$	400 $\mu$ Hz	4 hours	$7 \times 10^{-12}$
Caesium	None (primary std.)	$3 \times 10^{-12}$	6 $\mu$ Hz	45 minutes (21.5 ns/hour)	$1 \times 10^{-11}$

Ovlivňujícími veličinami elektronických časoměrných zařízení jsou především teplota, u mechanických kromě teploty také poloha zařízení a jeho orientace vzhledem ke svislici, případně i stálost či změny této polohy.

Ukázka konstrukce

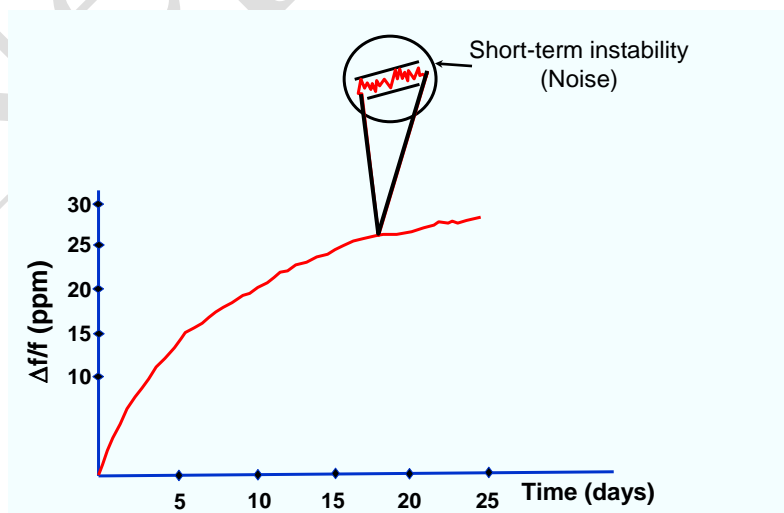


**Obr.22:** 10 MHz Ultra Stable Reference podle <http://www.space-airbusds.com/en/equipment/master-reference-oscillator-mro.html>

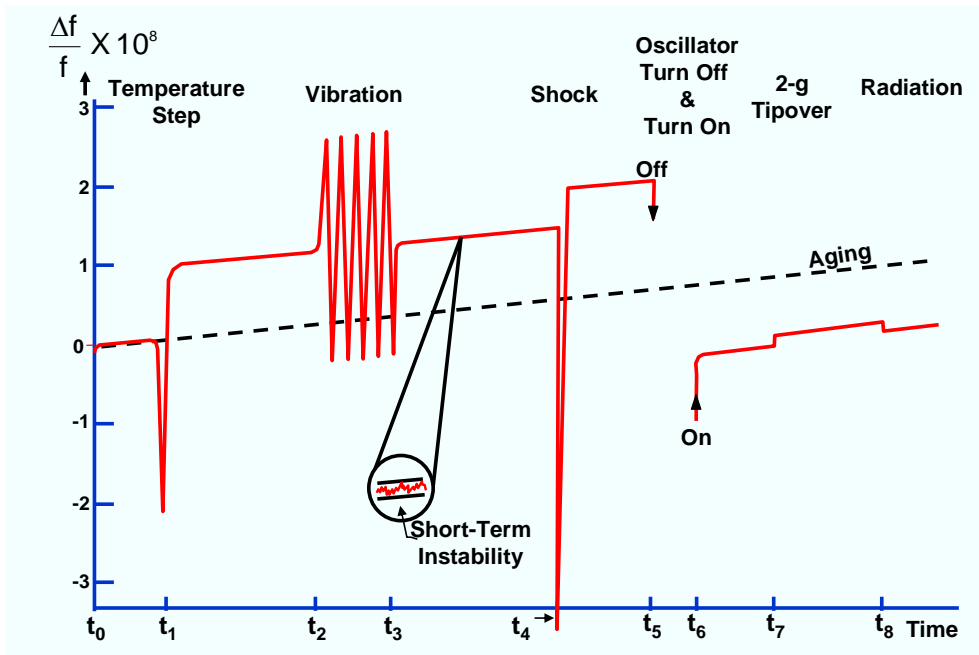
**Porovnání Q pro různé typy etalonů frekvence**

Krystalové oscilátory	( $f \sim 5 \text{ MHz}$ , $Q \sim 10^6$ )
Atomové etalony založené na:	
Rubidiovém článku,	( $f_0 = 6.8 \text{ GHz}$ , $Q \sim 10^7$ )
Cesiovém paprsku,	( $f_0 = 9.2 \text{ GHz}$ , $Q \sim 10^8$ )
Vodíkovém maseru,	( $f_0 = 1.4 \text{ GHz}$ , $Q \sim 10^9$ )
Iontové pastě,	( $f_0 > 10 \text{ GHz}$ , $Q > 10^{11}$ )
Cesiové fontány.	( $f_0 = 9.2 \text{ GHz}$ , $Q \sim 5 \times 10^{11}$ )

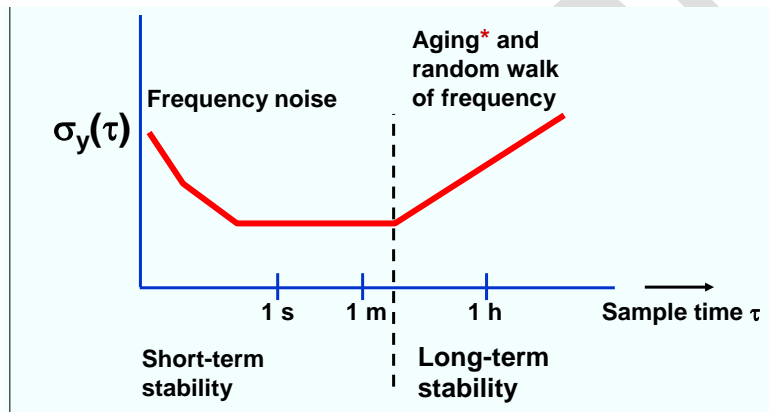
**Informativní ukázky závislostí podle literatury**



**Obr.23:** Stárnutí a krátkodobá stabilita



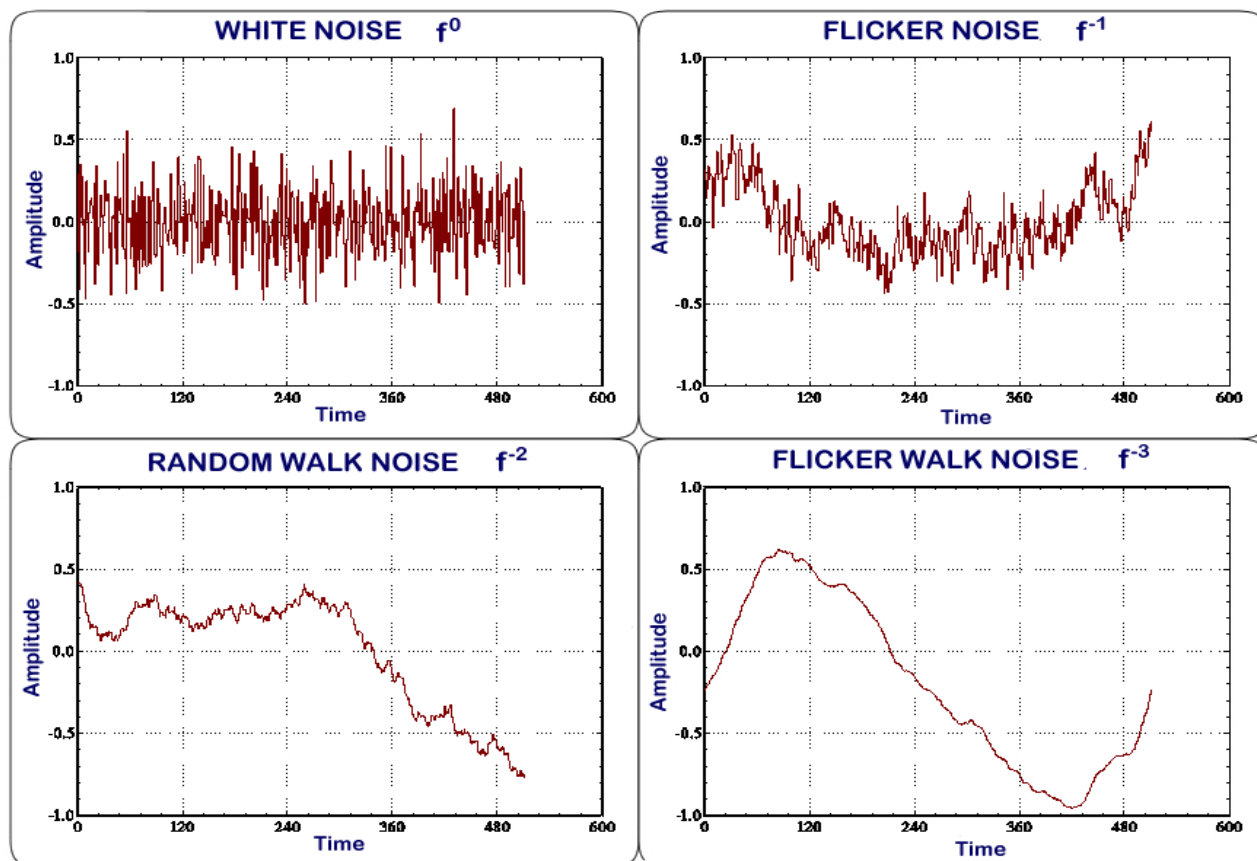
Obr.24: Různé vlivy na frekvenci



\*For  $\sigma_y(\tau)$  to be a proper measure of random frequency fluctuations, aging must be properly subtracted from the data at long  $\tau$ 's.

Obr.25: Stabilita vyjádřená v časové oblasti

13.1 Různé druhy šumu a jejich vliv podle literatury



Obr.26: Ukázka spekter

Nepro