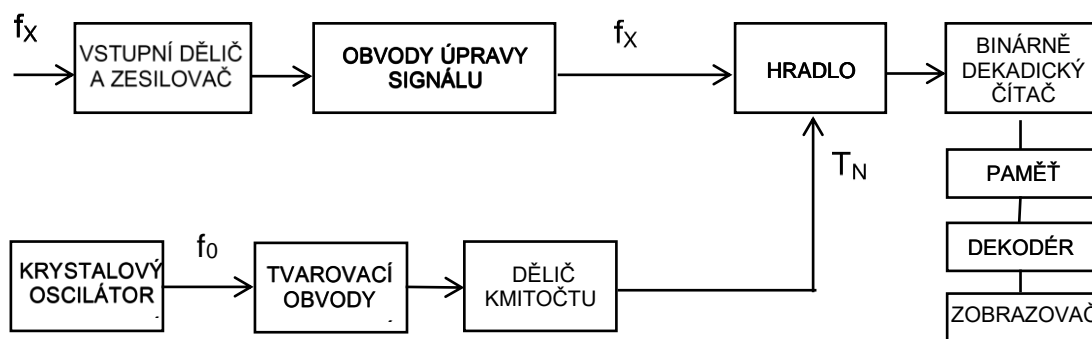


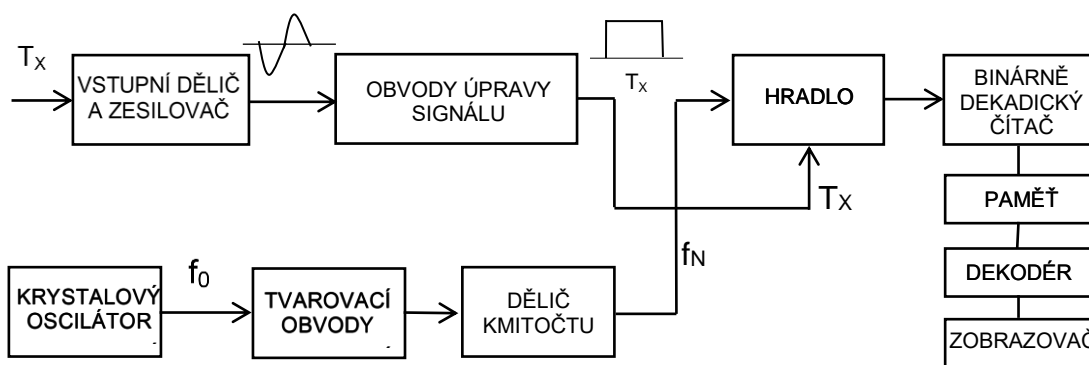
6. MĚŘENÍ KMITOČTU A DOBY PERIODY ČÍTAČEM

6.1. Úvod

Frekvence patří kromě napětí, popř. proudu, k nejčastěji měřeným veličinám. Nejedná se jen o měření při ožiování či opravách elektronických obvodů, ale frekvence je často měronosnou veličinou na výstupu senzorů řady fyzikálních veličin. Frekvenci f_x lze měřit buď přímo (viz obr. 6.1), nebo měřit periodu T_x (viz obr. 6.2) a frekvenci vypočítat ($f_x = 1/T_x$). V případě přímého měření je hradlo otevřeno po definovanou dobu T_N a po tuto dobu čítá čítač impulsy o frekvenci f_x . Přesnost přímého měření frekvence je ale v oblasti nižších kmitočtů omezena rozlišovací schopností $\Delta f_x = 1/T_N$. Proto se v případě měření v oblasti nižších kmitočtů používá nepřímé měření – měření periody T_x – a měřená frekvence se vypočte. V tomto případě je naopak hradlo otevřeno po dobu periody T_x a čítá čítač impulsy definované frekvence f_N . Tato metoda naopak není vhodná pro měření v oblasti vyšších frekvencí, kde rozlišení závisí na frekvenci čítaných hodinových impulsů.



Obr. 6.1. Blokové schéma čítače v režimu měření frekvence



Obr. 6.2. Blokové schéma čítače v režimu měření doby periody

V případě přímého měření frekvence bude tedy přesnost měření záviset jednak na rozlišovací schopnosti $\Delta f_x = 1/T_N$ a nejistotou doby otevření hradla, tedy stabilitou krystalového oscilátoru. Standardní nejistota typu B je pak dána vztahem

$$u_{f_x} = \sqrt{(\Delta f_x / \sqrt{3})^2 + (\Delta f_x / \sqrt{3})^2} \quad (1)$$

kde $\Delta f_x = 1/T_N$ je rozlišovací schopnost čítače v režimu přímého měření frekvence,

T_N doba otevření hradla,

$$\Delta f_X = \frac{\delta f_0}{100} \frac{N}{T_N} = \frac{\delta f_0}{100} f_X$$

δf_0 relativní nestabilita frekvence krystalového oscilátoru, která způsobuje chybu doby otevření hradla T_N ,

N počet pulsů načítaných za dobu T_N .

Obdobně při měření doby periody T_X bude standardní nejistota typu B dána vztahem

$$u_{T_X} = \sqrt{\left(\Delta' T_X / \sqrt{3}\right)^2 + \left(\Delta T_X / \sqrt{3}\right)^2} + 2u_k^2 \quad (2)$$

kde $\Delta' T_X = 1/f_N$ je rozlišovací schopnost čítače v režimu měření periody,

f_N frekvence normálového kmitočtu,

$$\Delta T_X = \frac{\delta f_0}{100} T_N N = \frac{\delta f_0}{100} T_X ,$$

kde δf_0 je relativní nestabilita frekvence krystalového oscilátoru f_0 v %,

$T_N = 1/f_N$ doba periody normálového kmitočtu,

N počet pulsů načítaných za dobu T_X .

Navíc zde figuruje ještě složka u_k , což je směrodatná odchylka, jejímž zdrojem je kolísání komparační úrovně způsobené šumem vstupního zesilovače a šumem signálu, jak je patrné z obr. 5.3; stanoví se ze vztahu

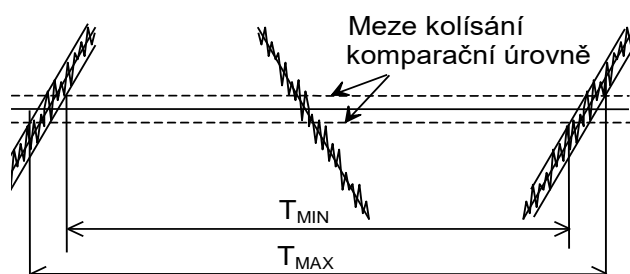
$$u_k = \frac{\sqrt{U_s^2 + U_{sig}^2}}{v_p} \quad (3)$$

kde U_s je efektivní hodnota šumu vstupního zesilovače čítače,

U_{sig} efektivní hodnota šumu vstupního signálu,

v_p rychlost přeběhu spouštěcí hrany signálu v okamžiku spuštění (V/s).

Poznámka: Zjištění hodnoty U_s a U_{sig} vyžaduje podrobnější analýzu měřeného signálu a vlastností čítače. Měříme-li signál TTL, blíží se hodnota v_p nekonečnu a člen u_k lze zanedbat. Kolísání údaje je v tomto případě způsobeno nestabilitou kmitočtu měřeného signálu.



Obr. 6.3. Vliv šumu na kolísání komparační úrovně při měření doby periody

Standardní nejistota typu B při měření **dobu periody T_x s průměrováním**:

Poznámka: Průměrováním se při měření doby periody rozumí změření doby n period (n je zpravidla k -tá mocnina deseti, k je přirozené číslo), doba 1 periody se určí posunutím desetinné čárky vlevo o k pozic. Nejedná se tedy o výpočet průměru z n izolovaných měření (ve smyslu stanovení nejistoty typu A), ale o snížení výše popsané nejistoty typu B.

Jednotlivé členy ve vztahu (2) jsou průměrováním ovlivněny následujícím způsobem:

Složka Δ/T_x (dána rozlišovací schopností) se n -krát sníží, neboť rozlišitelnost odpovídá hodnotě $1/nf_N$. (Po posunutí desetinné čárky odpovídá váha posledního místa na displeji n -krát menší hodnotě než při měření doby 1 periody.)

Složka ΔT_x je určena relativní nestabilitou frekvence krystalového oscilátoru f_0 a průměrováním není ovlivněna, neboť

$$\Delta T_x = \frac{\delta f_0}{100} T_x \frac{n}{n} = \frac{\delta f_0}{100} T_x \quad (4)$$

Složka u_k zůstává stejně velká bez ohledu na dobu periody, resp. počtu měřených period. Posunutím desetinné čárky o k pozic se však její hodnota n -krát sníží.

Výsledný vztah pro stanovení standardní nejistoty typu B při měření **dobu periody T_x s průměrováním** je tedy:

$$u_{T_x} = \sqrt{\left(\Delta/T_x / (n\sqrt{3})\right)^2 + \left(\Delta T_x / \sqrt{3}\right)^2 + 2(u_k / n)^2} \quad (5)$$

Poznámka k problematice čítačů: V úloze jsou použity „školní čítače“, které umožňují nastavení definovaného režimu činnosti (dobu otevření hradla v režimu „měření frekvence“ a počet period, z něhož se určuje doba periody v režimu „měření periody“).

6.2. Domácí příprava

5.2.1. Prostudujte si teoretický úvod

5.2.2. Jak souvisí s rozlišením při měření frekvence f_x doba otevření hradla T_N a jak při měření periody T_x s rozlišením souvisí frekvence f_N impulsů, které jsou čítány po dobu T_x ?

5.2.3. Co je to režim průměrování a kdy je vhodné jej použít?

6.3. Úkol měření

6.3.1. Změřte frekvenci generovanou nízkofrekvenčním generátorem

- školním čítačem v režimu měření frekvence při různých dobách otevření hradla ($T_N = 1$ s, 10 s)
- školním čítačem v režimu měření doby periody jednak přímo ($n = 1$), jednak s využitím průměrování ($n = 100$).
- Komerčním čítačem TF930 v režimu měření frekvence při dobách měření $T_N = 1$ s, 10 s

Na generátoru nastavte kmitočty 60 Hz, 500 Hz, 5 kHz, 50 kHz, 200 kHz. Pro výše uvedené režimy měření určete pro kmitočty 60 Hz a 200 kHz pro měření školním čítačem jak absolutní nejistotu, tak relativní nejistotu v %.

Poznámka k měření: Komerční čítače, které jsou v současné době na trhu, používají pro eliminaci nevýhod výše uvedených metod a zpřesnění měření tzv. metodu „recipročního měření“ (reciprocal

counting), která obě výše uvedené metody kombinuje (více detailů pro zájemce viz podklady k přednášce Měření kmitočtu a fázového rozdílu).

6.3.2. Ověřte přesnost krystalem řízených hodin:

- a) měřením doby periody pulsů pro krokový motor (správná hodnota je 2 s),
- b) přímým měřením frekvence oscilátoru (správná hodnota je 2^{15} , tj. 32 768 Hz).

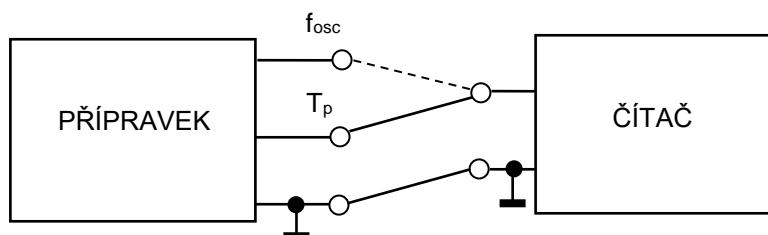
Určete nepřesnost hodin v sekundách za den.

Poznámka k měření: Přímé měření kmitočtu oscilátoru u krystalu není vhodné, protože vstupní kapacita kabelu a čítače (i při použití sondy) ovlivňuje kmitočet oscilátoru. Proto je mezi krystalem a čítačem zařazen emitorový sledovač (je součástí přípravku s hodinami).

6.4. Schéma zapojení

Při kontrole stupnice nízkofrekvenčního generátoru je výstup generátoru připojen ke vstupu čítače koaxiálním kabelem.

Schéma zapojení pro měření na přípravku s krystalem řízenými hodinami:



Obr. 6.4. Zapojení měřicího obvodu