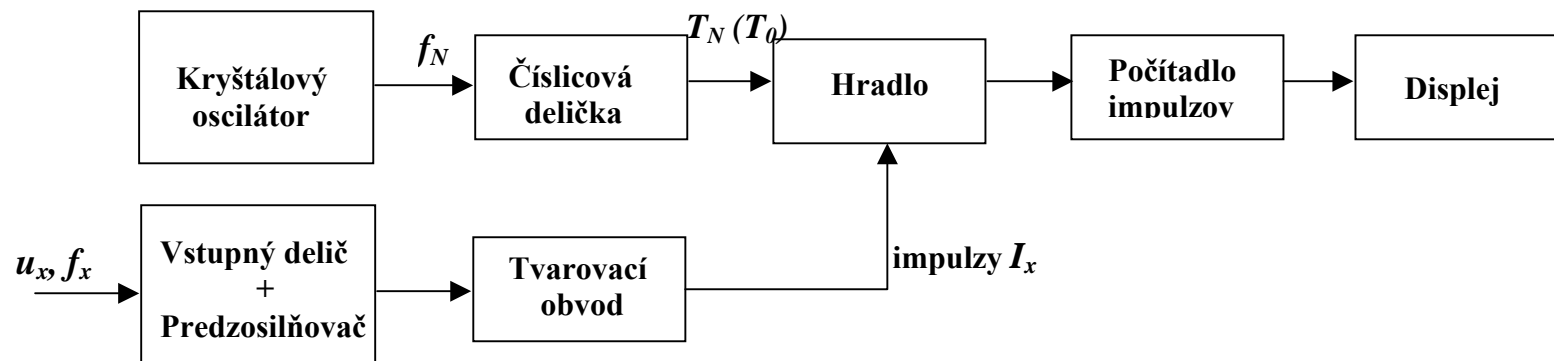


Meranie frekvencie (1)

- rezonančné prístroje (jazýčkové kmitomery) – boli
- analógové frekventomery
- osciloskop – Lissajoussove obrazce (cvičenia)
- pomocou striedavých mostíkov – rezonančný mostík, Wien-Robinsonov mostík (spomenieme pri meraní pasívnych elektrických veličín)
- číslicové meranie – rozšírené, rozsah do GHz
- principiálne zapojenie a funkcia obvodu, $f_X > f_N \Rightarrow T_X < T_N$



- impulzy vstupujúce do otvoreného hradla majú frekvenciu f_X a definovanú úroveň amplitúdy

Meranie frekvencie (2)

- doba otvorenia hradla T_0 môže byť rovná perióde impulzov z oscilátora T_N , alebo násobku T_N

$$T_0 = T_N \text{ alebo } T_0 = k \cdot T_N$$

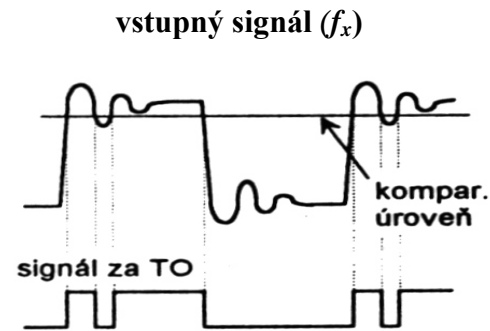
- deliaca konštanta v deličke je nastavená tak, aby T_0 bolo dekadickým násobkom (podielom) 1 sekundy
- počas otvorenia hradla prechádzajú impulzy s frekvenciou f_x do počítadla impulzov (ich počet n_x)

$$T_0 = n_x \cdot T_x \Rightarrow f_x = \frac{n_x}{T_0} = \frac{n_x}{k \cdot T_N} = \frac{n_x}{k} \cdot f_N$$

- absolútna chyba merania je ± 1 impulz
- zmenšenie relatívnej chyby $\Rightarrow T_N \gg T_x$

Meranie frekvencie (3)

- nevhodný tvar signálu (impulzný priebeh so zákmitmi) a nevhodne nastavená kompenzačná úroveň tvarovacieho obvodu \Rightarrow zapríčiní, že sa zmeria násobok skutočnej frekvencie f_x



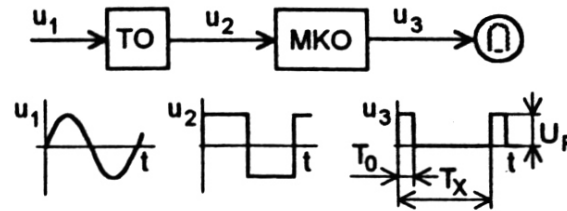
- treba približne určiť f_x (napr. osciloskopom) a presne zmerať počítadlom
- $f_x > \text{GHz}$; metóda zmiešavania $f_x = f_m + k f_N \Rightarrow f_m = f_x - k f_N$;
 f_m frekvencia dolnopriepustného filtra, ktorého výstup sa meria ($f_m < \text{GHz}$)

Meranie frekvencie (4)

- pre zvýšenie rozlišovacej schopnosti pre malé f_x sa meraná frekvencia násobí 10x, 100x, ... a potom sa meria
- iná možnosť pre $f_x < f_N \Rightarrow T_x > T_N$ je zameniť na vstupe hradla signály f_x a f_N . Teda signál s f_x sa upraví tak, aby otváral a zatváral hradlo a impulzy odvodené od f_N sa počítajú v počítadle
- $f_N = n_N \cdot f_x = \frac{n_N}{T_x}; \quad f_x = \frac{f_N}{n_N}$
- presnosť ako v predošlom prípade ($f_x > f_N$)
- na podobnom princípe funguje aj meranie času (napr. doba periódy)

Meranie frekvencie (5)

- analógové frekventometry – meraná f_x sa zmení na meranie DC zložky impulzného priebehu



- tvarovací obvod TO generuje zo vstupného signálu u_1 obdĺžnikový priebeh u_2
- monostabilný klopný obvod MKO generuje obdĺžnikové impulzy dĺžky T_0 a amplitúdy U_p (signál u_3)

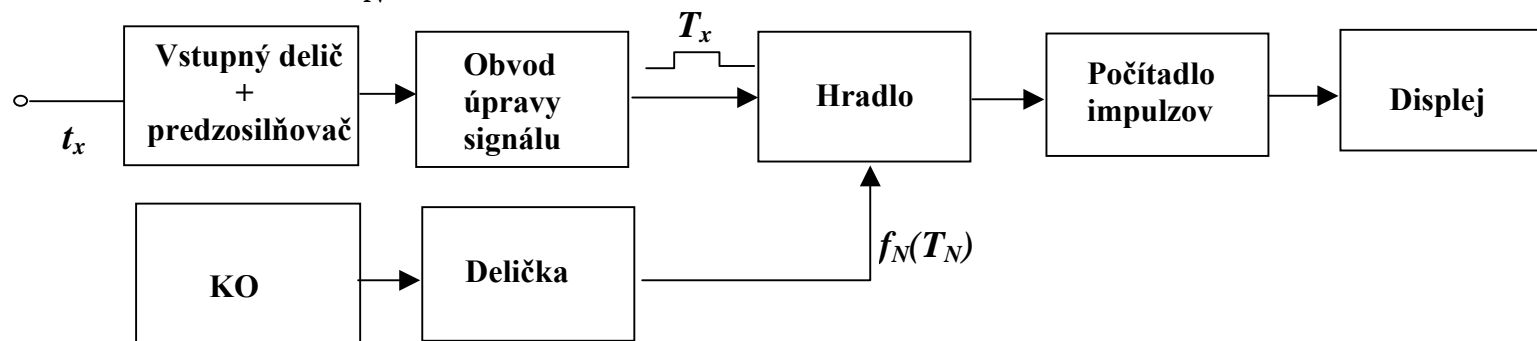
$$\text{stredná hodnota } U_0 = \frac{1}{T_x} \int_0^{T_x} u_3 \cdot dt = \frac{1}{T_x} \int_0^{T_0} U_p \cdot dt = U_p \cdot T_0 \cdot f_x = k \cdot f_x$$

- použitie: analógové otáčkomery v automobiloch

Meranie času (1)

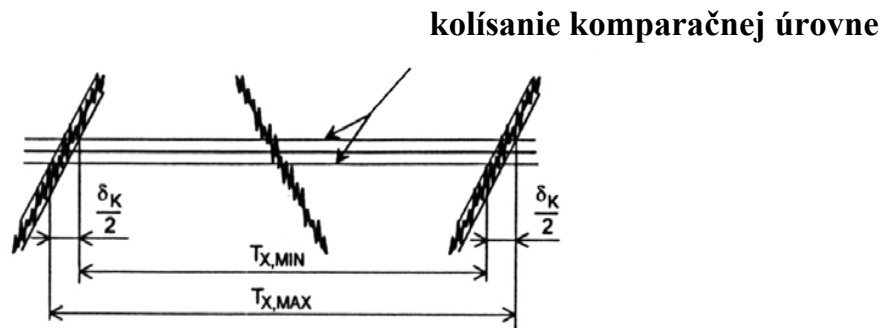
- meraný časový interval t_x je porovnávaný s celočíselným násobkom doby periódy T_N generátora normálovej frekvencie f_N
- hradlo sa otvorí na začiatku meraného časového intervalu a zavrie na konci t_x
- impulzy na otvorenie a zavretie hradla sa generujú v tvarovacích obvodoch
- počas otvorenia sa hradlo plní impulzami z generátora f_N

$$t_x = n_N \cdot T_N = \frac{n_N}{f_N}$$



Meranie času (2)

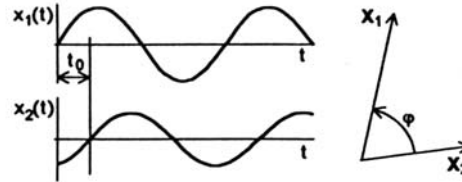
- objavuje sa chyba δ_K vznikajúca pri prevode meraného časového intervalu na dĺžku impulzu, ktorý otvára hradlo
- chybu δ_K zapríčiňuje šum superponovaný na meraný signál a kolísanie komparačnej úrovne



- chybu δ_K možno znížiť „spriemerňovaním“, odmeriame dobu $N_1 = 10^k$ periód a výsledný čas podelíme 10^k
- δ_K sa zníži N_1 -krát
- meranie času pomocou osciloskopu (aj frekvencie zobrazovaného signálu)

Meranie fázového posunu dvoch priebehov φ (1)

- φ je definované pre dvojicu harmonických signálov rovnakej frekvencie
 $x_1(t) = X_{1m} \cdot \sin \omega t$; $x_2(t) = X_{2m} \cdot \sin(\omega t - \varphi)$

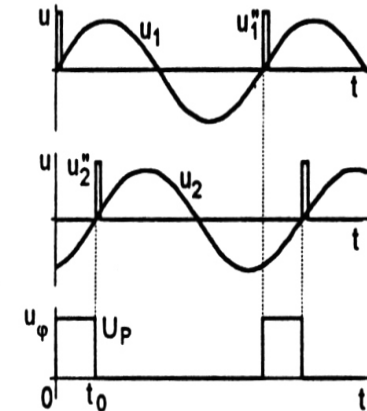
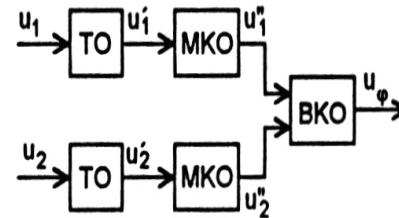


- meranie – elektrodynamické (pomerové) fázomery
 - $\cos \varphi = P/U \cdot I$ – wattmetre
 - osciloskopy – fázová rovina (cvičenia)
 - metódy 3-voltmetrov a 3-ampérmetrov
 - číslicové meranie – meraním časového rozdielu t_0 prechodu $x_1(t)$ a $x_2(t)$ nulovou hodnotou s rovnakou deriváciou
 $\varphi = \omega t_0 = 2\pi f \cdot t_0 = 360 \cdot f \cdot t_0$; $t_0 = n_N \cdot T_N$ (vid' meranie času)
- nevýhoda – závislosť na frekvencii f signálov $x_1(t)$ a $x_2(t)$
- ťažko sa robí stupnica prístroja (pre rôzne frekvencie)
- preto pred meraním φ odmeraj f a nastav na oscilátore

$$f_N = 36 \cdot 10^k \cdot f \quad (k = 1, 2, \dots, n) \Rightarrow \varphi = \frac{n_N}{10^{k-1}}$$

Meranie φ (2)

- elektronické fázomery



- tvarovacie obvody TO premenia u_1, u_2 na obdĺžnikové priebehy u'_1, u'_2
- nábežné hrany u'_1 a u'_2 spustia monostabilné klopné obvody MKO generujúce úzke impulzy u''_1 a u''_2
- tie ovládajú bistabilný klopný obvod BKO – na výstupe získame obdĺžnikový priebeh u_φ s dĺžkou impulzu t_0 a periódou T
- jednosmerná zložka $U_{0\varphi} \sim \varphi$ - meriame magnetoelektrickým voltmetrom

$$U_{0\varphi} = \frac{1}{T} \int_0^T u_\varphi(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_p \cdot dt = U_p \frac{t_0}{T} = U_p \cdot \frac{\varphi}{2\pi} = k \cdot \varphi \quad \left(t_0 = \frac{\varphi}{2\pi \cdot f} = \frac{\varphi \cdot T}{2\pi} \right)$$