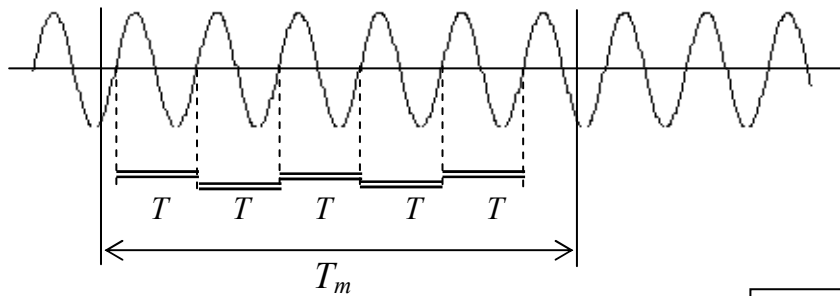


6 SAGEDUSE JA FAASINIHKE MÕÕTMINE

6.1 ÜLDIST

Sagedus on võnkeperioodide arvu ja mõõteaja suhe: $f = N/T_m$ [Hz]



$$N \approx 5,9$$

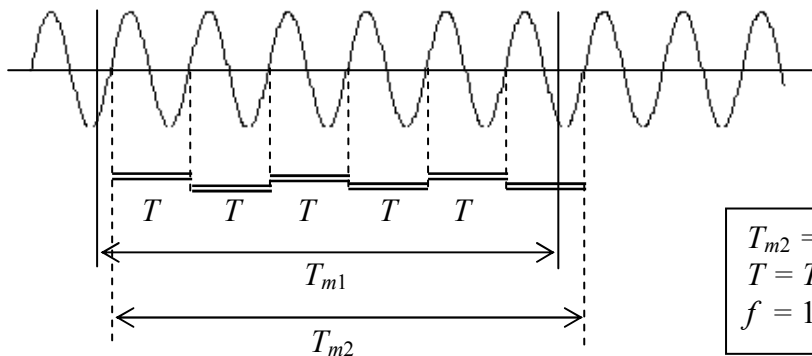
$$f = N/T_m \approx 5,9/T_m$$

Faas $\theta(t) = \omega t + \theta_0$
Sagedus $\omega = d\theta/dt$

a) **Lihtsaim algoritm**: N – täisarv, täisperioodide arv, sobib kõrgemal sagedusel hästi.

b) **Madalal sagedusel**, kus perioodide arv mõõteaja jooksul on väike, võib sageduse asemel mõõta **perioodi T pikkust**. Tekkib oluline lisaviga – perioodi aluse ja lõpu formeerimise viga (suurusjärgus 0,5%). Selle vähendamiseks mõõdetakse perioodi kordset $10T$, $100T$ jne. Sagedus arvutatakse tulemusest: $f = 1/T$.

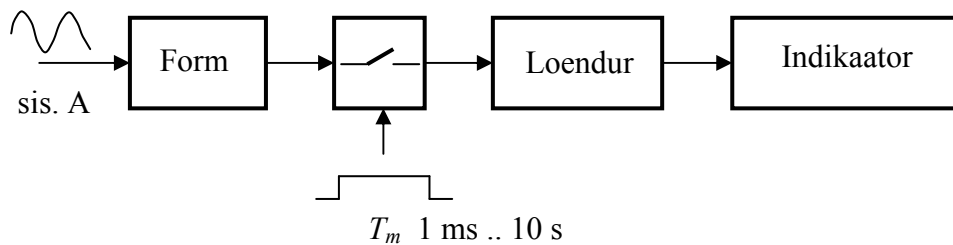
c) **Modifitseeritud algoritm** – valitakse mõõteage sõltuvalt signaalist nii, et ta sisaldaks täpselt täisarvu perioode T . **st signaaliga sünkronismis olev mõõteage**



$$\begin{aligned} T_{m2} &= kT; \\ T &= T_{m2}/k; \\ f &= 1/T = k/T_{m2} \end{aligned}$$

6.2 DIGITAALNE SAGEDUSMÕÕTUR

Lihtsaim struktuur – võnkeperioodide arvu mõõtmisega teadaoleva aja T_m jooksul



Sisendformeerija A tundlikkus 0,5 V (võimendusega 50 mV), sagedus kuni 1 GHz.

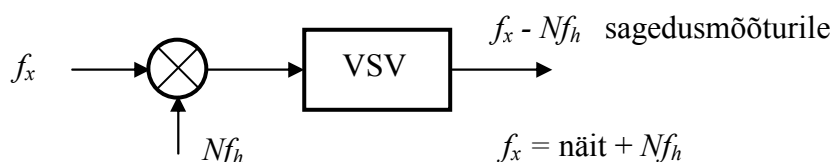
Mõõteag ja loendusimpulsid – formeerimine kvartsgeneraatori abil ($+10^{-5} \dots 10^{-8}$):

– mõõteag 1 ms ... 10 s (formeeriv seade + sagedusjagur + loendur),

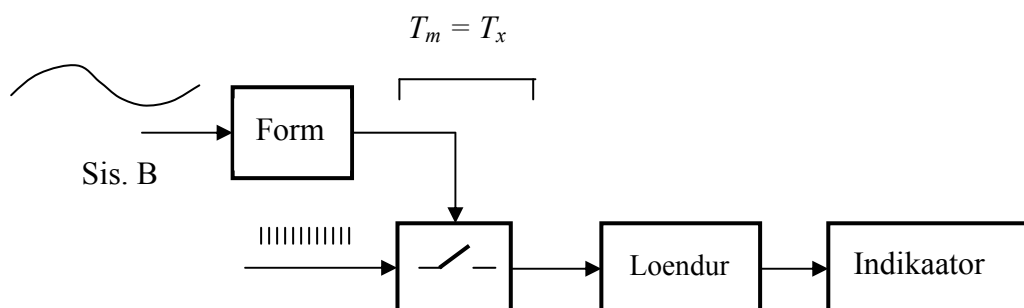
– loendusimpulsid kordusperioodiga 10 ns ... 1 ms (sageduskordisti + formeeriv seade).

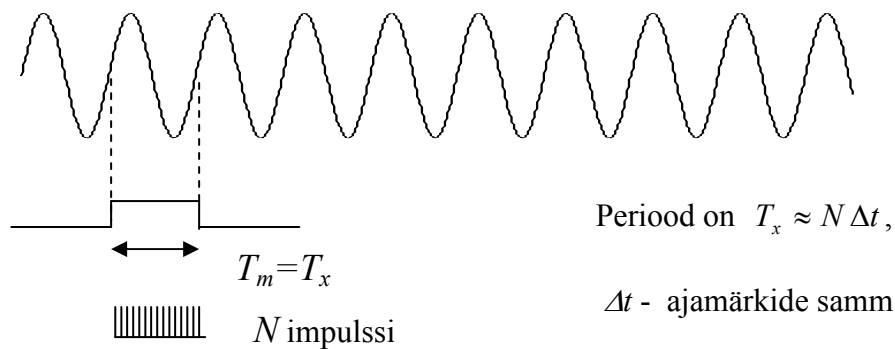
Mõõteaja ja perioodi stabiilsus on sama kui generaatori sagedus stabiilsus.

Kõrgematel sagedustel – eelnev heterodüün-sagedusmuundamine madalamale

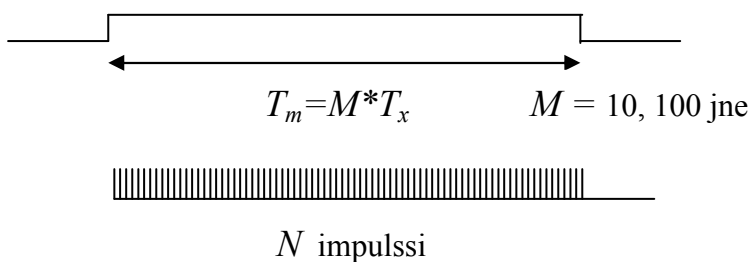


Perioodi mõõtmise režiim kasutamiseks madalamatel sagedustel



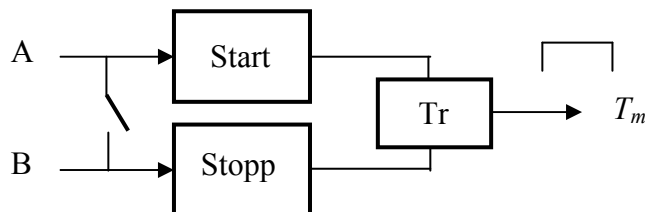


Vea vähendamiseks kasutatakse mõõteaja kordistit $M = 10, 100, 1000$:



Väheneb diskreetsusest ja formeerimisest tingitud viga (M korda).

Ajavahemike mõõtmine



Sageduste suhte mõõtmine

Kahe sageduse f_1 ja f_2 suhte mõõtmine toimub järgmiselt:

- madalama sagedusega signaalist formeeritakse mõõteag, näiteks $T_m = T_1$;
- kõrgema sagedusega signaalist tekitatakse loendusimpulsid, näit. $\Delta t = T_2$;
- sageduse mõõtmise režiimis saadakse $N = T_m / \Delta t = T_1 / T_2 = f_2 / f_1$.

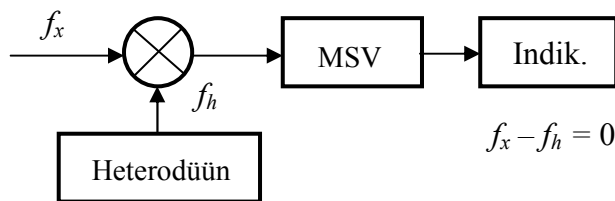
Täpsuse tõstmiseks tuleb mõõteaja formeerimisel kasutada kordistamist 10, 100 või 1000 korda, nagu see toimus perioodi mõõtmisel.

6.3 MUUD MEETODID SAGEDUSE MÕÕTMISEKS

Heterodüünmeetod

Heterodüünmeetodil võrreldakse mõõdetavat sagedust reguleeritava sagedusega generaatori (nn heterodüüni) sagedusega. Võrdlemiseks segustatakse sagedused ning määratakse nende vahe $|f_x - f_h|$. Heterodüüni reguleerides viiakse vahe nulli ning saadakse mõõtetulemus sageduse skaalalt. Skaalat täpsustatakse kalibraatori abil.

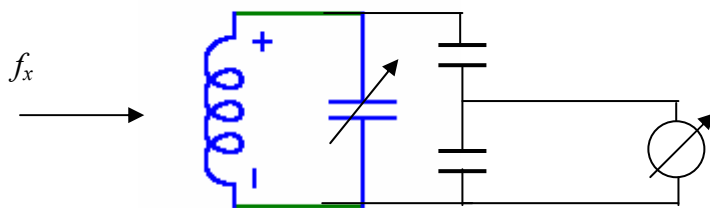
Struktuur



Nn nulltuikamiste indikaator

Resonantsmeetod

Tundmatu sagedusega signaal antakse resonantssüsteemile (näit. võnkering). Süsteemi parameetreid muutes viiakse ta resonantsi, misjärel loetakse sagedus häälestusorgani skaalalt. Saavutatav täpsus 0,5 ... 0,05%.

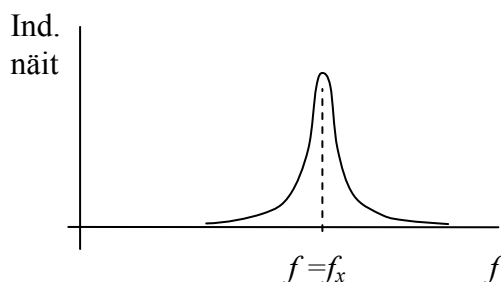


Sidestus

LC-võnkering

Resonantsi indikaator

Resonantssüsteem: LC-võnkering (kuni 300 MHz), koaksiaalresonaator, õõsresonaator

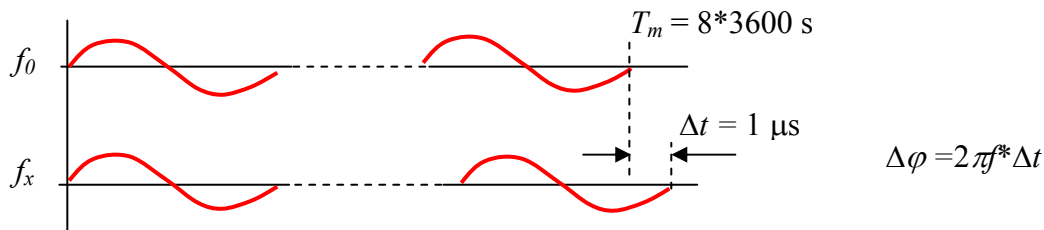


Resonantssüsteemi hüvetegur

$$Q = f_{res}/(\Delta f_{0,7}) \text{ võimalikult suur !!}$$

Võrdlusmeetod

Suurim täpsus kahe sageduse võrdlemisel saavutatakse signaalide vahelise faasinihke mõõtmise teel. Vaatleme meetodi rakendust kahe lähedase sagedusega siinuse korral.



Suhteliselt pika mõõteaja jooksul (näit 8 tundi) jälgitakse signaalide faaside vahet $\Delta \varphi$

$$\Delta \varphi = \varphi_0 - \varphi_x = \omega_0 T_m - \omega_x T_m = \Delta \omega T_m;$$

$$\Delta \omega = \Delta \varphi / T_m = 2\pi f \Delta t / T_m; \quad \Delta f = f \Delta t / T_m;$$

Sagedusvea arvutus annab $f = 5 \text{ MHz}$ ja $\Delta t = 1 \mu\text{s}$ korral

$$\Delta f = 5 * 10^6 * 10^{-6} / 3600 = 1,39 * 10^{-3} \text{ Hz}$$

$$\delta f = 1,39 * 10^{-3} / (5 * 10^6) = 2,8 * 10^{-10} \text{ !!}$$

Täppissageduse allikad

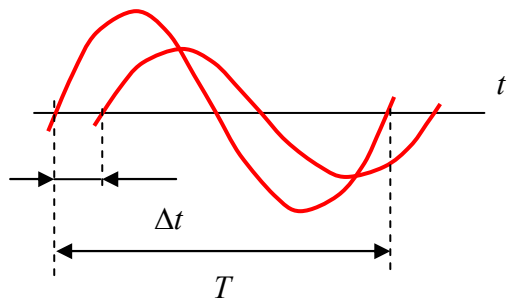
- kvartsstandardid $\pm 10^{-6} \dots 5 * 10^{-9}$
- kvantstandardid Cs: 9192632,770 Hz $\pm 10^{-12}$, Rb: 6834682,613 Hz $\pm 10^{-10}$
- raadio teel edastatavad täppissagedused
 - LL: 2,5, 5, 10, 15 ja 20 MHz (Fort Collins ja Kauai, USA)
 - PL: 60 kHz (Fort Collins, Colorado, USA), 66,666.. ja 200 kHz (Venemaa)
 - LORAN C (*long-range navigation*) 100 kHz $\pm 10^{-12}$, vt <http://www.nels.org>
 - 15 .. 30 kHz (Tokio, London) – OMEGA süsteem lülitati välja 1997
 - GPS: 1575,42 MHz ja 1227,6 MHz $\pm 5 * 10^{-12}$, täpsed ajamärgid 1 s tagant

Vajalik on spetsiaalne komparaator-vastuvõtja.

6.4 FAASINIHKE MÕÕTMINE

6.4.1 ÜLDIST

Kahe siinussignaali vaheline faasinihke φ ei muutu ajas vaid siis, kui signaalid on sama sagedusega.

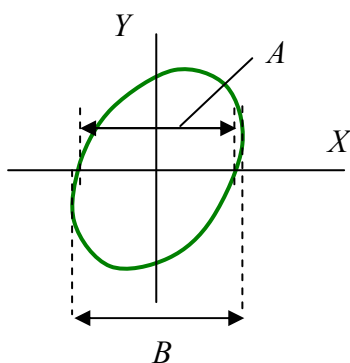


Faasinihke φ saame ajavahemike suhte järgi

$$\Delta t/T = \varphi / (2\pi) = \varphi^\circ / 360^\circ$$

Otsese mõõtmise võimalused ostsillograafiga:

– kahekiireline (-kanaline) ostsillograaf



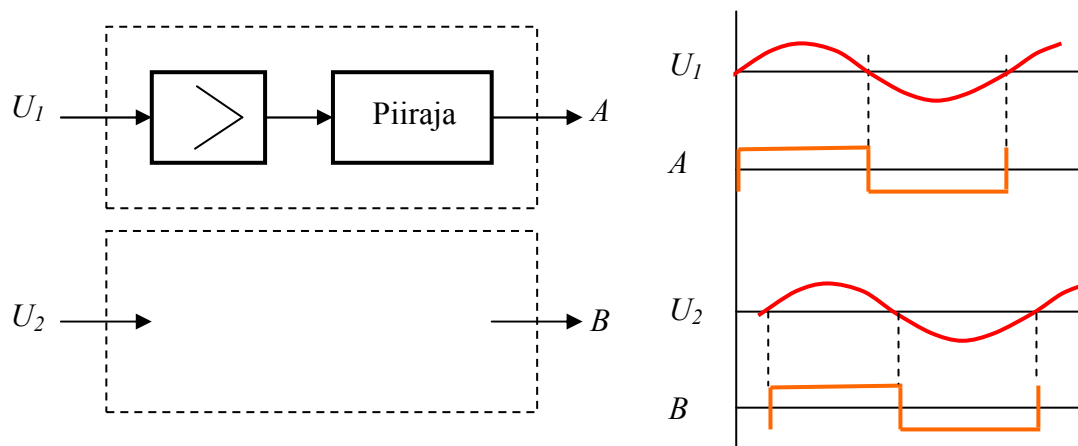
Lõikude A ja B suhte järgi saame faasinihke

$$\sin \varphi = A/B$$

Tulemus ei olene otseselt signaali suurusest (võimendusest)

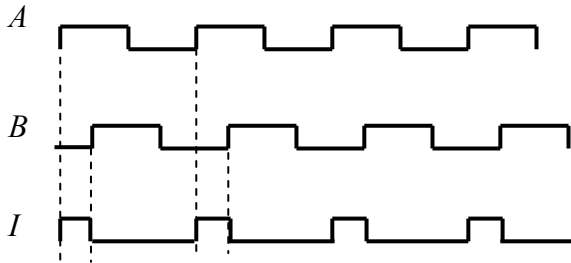
Elektroonsed faasimõõturid

Kasutatakse siinussignaali teisendamist nelinurk-signaaliks ja ajavahemike mõõtmist.

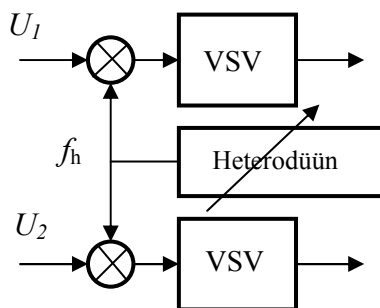


Lihtsaim faasimõõtur moodustab signaalide A ja B järgi nelinurk-signaali I , mille keskväärtus on võrdeline faasinihkega. Keskväärtust mõõdetakse seadmega, mille näit on gradueeritud faasinihke järgi. Faasimõõtuuri mõõteviga antakse absoluutse veana, näiteks

$$\Delta\varphi_{\max} = \pm 0,5 \text{ kraadi}$$



Sageduse muundamine faasinihke mõõtmisel



Segusti 1:

$$\sin\omega t * \sin\omega_h t = 0,5[\cos(\omega - \omega_h)t + \dots];$$

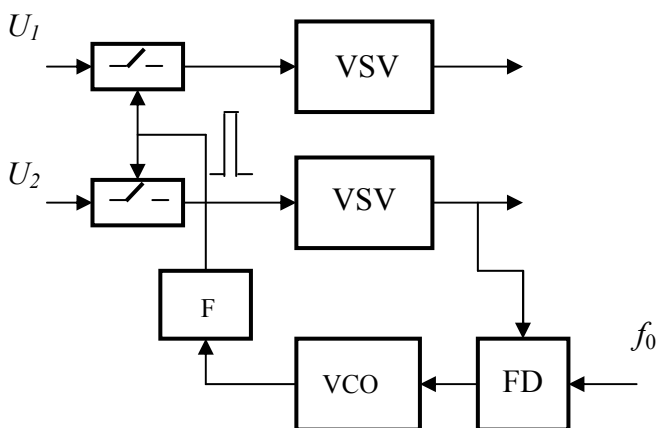
Segusti 2:

$$\sin(\omega t + \varphi) * \sin\omega_h t = 0,5\{\cos[(\omega - \omega_h)t + \varphi] + \dots\};$$

Järeldus: faasinihke kandub muutuseta üle madalamale sagedusele !

Kuna $\varphi = \omega * \Delta t$, siis ajaline nihe Δt kasvab.

Stroboskoopiline segustamine



On samaväärne segustamisega f_h kõrgema harmoonikuga $N f_h$

$$f_{\text{sis}} = 1 \dots 1000 \text{ MHz}$$

$$f_h = 1 \dots 2 \text{ MHz} \quad N = 1 \dots 500$$

