Mælitækni I:

Mæling á tíðni og tíma

Kafli 12

Jón Tómas Guðmundsson

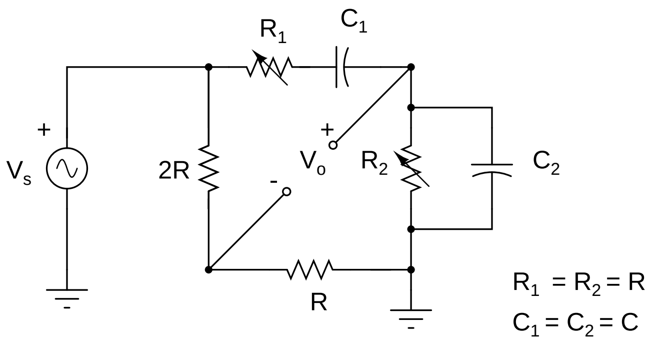
tumi@hi.is

8. nóvember 1999

Inngangur

- Til eru tvær skilgreiningar á tíðni:
  - **Meðaltíðni**, mælt sem atburðir á einingartíma
  - **Augnablikstíðni**, mælt sem umhverfa tímans milli atburða
- Flestir nútíma tíðnimælar eru stafrænir og mæla meðaltíðni með því að telja fjölda atburða yfir nákvæmlega ákvarðaðan tíma
- Nokkrar ónákvæmari aðferðir má einnig nota til að mæla tíðni. Sumar þessara aðferða bera óþekktu tíðnina saman við þekkta tíma- eða tíðnistaðla
  - Lissajous myndir
  - zero-beat heterodyne aðferð
  - Tíðnirófsgreining
  - Fast Fourier transform (FFT)
  - Stillanlegar síur

Wein brúar tíðnimælir



- Wein brúarsveifluvaka má nota til að framkalla nákvæmlega þekkta sínusbylgju
- Brúarhluta rásarinnar má einnig nota til að mæla tíðni merkis

Wein brúar tíðnimælir

- Merkið sem mæla á er þá lagt á brúna
- Armar brúarinnar innihalda stillanlega búta og fyrir tiltekna stillingu er brúin í jafnvægi
- Nota má heyrnartól, bakskautslampa eða spennumæli til að finna jafnvægisskilyrðið
- Oftast eru bútar valdir þannig að

$$R_1 = R_2 = R$$

og

$$C_1 = C_2 = C$$

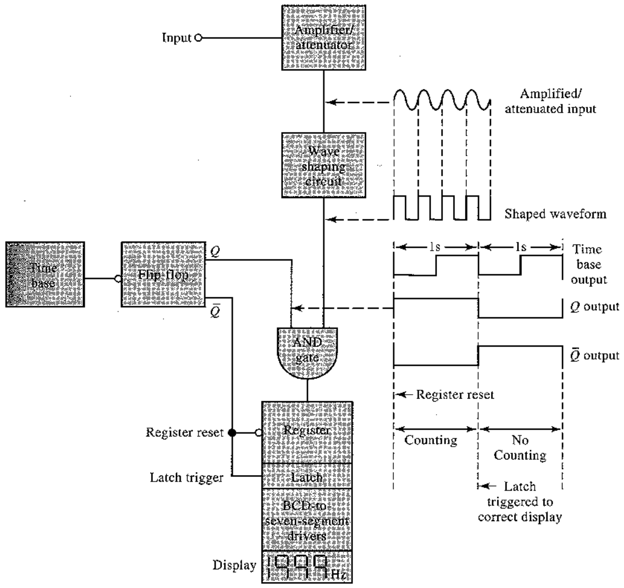
og í jafnvægi er tíðnin

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

Stafrænn tíðnimælir

- Stafrænn tíðnimælir samastendur af
  - nákvæmum tímagrunni
  - stafrænni teljararás
  - rás sem aðlagar innmerkið
  - rás sem beinir innmerki að teljararásinni
- Innmerkið er fyrst magnað eða deyft eftir atvikum
- Því er þar næst beint að rás sem aðlagar bylgjuformið eða breytir því í púlsa með sömu tíðni og innmerkið
- Innmerkið má vera sínus, kassi, þríhyrningur eða hvað það lotubundna merki sem vera skal
- Aðlagaða bylgjuformið er síðan fætt inn á annan inngang AND hliðs. Hinum innganginum er stýrt með Q-útgangi **vippu** (e. flip-flop)

Stafrænn tíðnimælir



(a) Frequency meter system (b) System waveforms

Stafrænn tíðnimælir

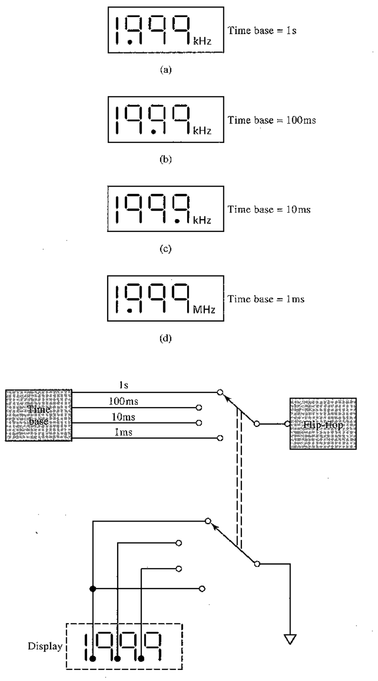
- Púlsarnir fari því aðeins um hliðið að Q-útgangur vippunnar sé hár
- Vippunni er stýrt með tímarás og skiptir hún um stöðu á hverri fallandi skör á útgangi tímarásarinnar
- Ef t. d. tímarásin hefur útgangstíðni 1 Hz þá er Q-útgangur vippunnar hár í 1 s og lágur í 1 s
- Þá er talið í 1 s (hliðið er opið, hliðtími) og fjöldi talninga gefur tíðnina í Hertz
- Teljararásin er endurstillt í núll á fallandi skör $\bar{Q}$-útgangs vippunnar svo að talningin byrjar alltaf á núlli
- Latch rásirnar eru ræstar í lok talningartímans með rísandi skör $\bar{Q}$-útgangs vippunnar og eru á þar til næst er ræst

Stafrænn tíðnimælir

- Nákvæm tímabil 10 μs, 100 μs, 1 ms o. sv. frv. má fá með kristalsveifluvaka (e. crystal oscillator) og nokkrum tugþrepateljurum (e. decade counter)
- Myndin sýnir stafræna vísun upp á 3 1/2-staf sem getur einnig birt eininguna Hz eða kHz og s. frv.
- Ef notuð eru 100 ms tímabil í stað 1 s þá segir 1999 til um 1999 talningar á 100 ms eða 19.99 kHz
- Nota skal lægsta mögulegt svið við hverja mælingu til að fá sem mesta nákvæmni

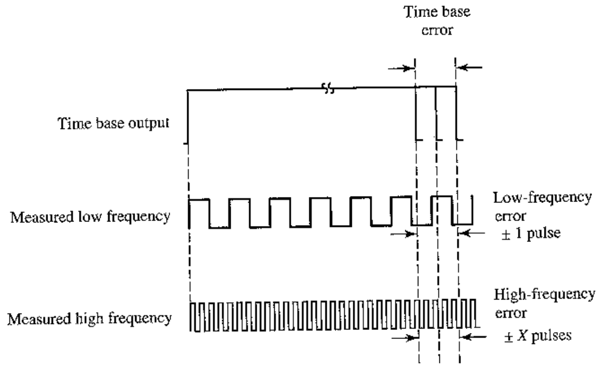
$\Longrightarrow$ Dæmi 12.1.

Stafrænn tíðnimælir



(e) Selection of time period and decimal point

Nákvæmni tíðnimæla



- Púlsahlutar sem fara um AND hliðið eru ýmist taldir eður ei. Það er því ávallt óvissa upp á ± 1 í talningu af völdum hliðtíma
- Þessi talning er skilgreind sem veigaminnsti stafur (e. Least significant digit (LSD))

Nákvæmni tíðnimæla

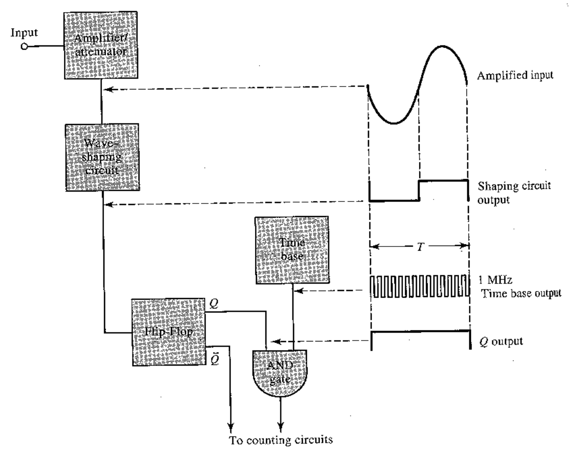
- Nákvæmni tíðniteljara er venjulega sett fram sem

$$\pm \text{ LSD } \pm \text{ óvissa í tímagrunni}$$

- Óvissa í tímagrunni stafar af óvissu í kristalsveiflugjafa af völdum
  - hitastigsbreytinga
  - breytinga í álagðri spennu
  - öldrun kristalls

$\Longrightarrow$ Dæmi 12.2.

Umhverfð talning



- Á mynd er 1 MHz merki frá tímagrunninum sent beint inn á AND hliðið í stað merkisins frá aðlögunarrásinni
- Aðlagaða merkið er látið stýra vippunni
- Þetta veldur því að AND hliðið hleypir í gegn púlsum frá 1 MHz sveifluvakanum að teljararásinni yfir tímabil sem er lota innmerkisins (T)

Umhverfð talning

- Þegar 100 Hz merki er mælt þá hleypir AND hliðið teljararásinni á í $1/100$ Hz $=$ 10 ms
- Lota 1 MHz sveiflunnar er 1 μs og því er fjöldi púlsa yfir tímann T

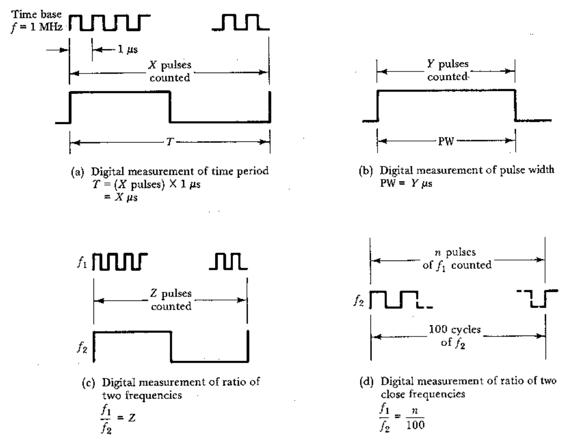
$$n = \frac{10 \text{ ms}}{1\ \mu\text{s}}$$

- Þetta kemur fram í skjá sem 10000 μs og má umhverfa til að ákvarða inngangstíðnina
- Nákvæmni í mælingu á 100 Hz er nú $\pm$ 1 af 10000 eða

$$\text{óvissa} = \frac{\pm\ 1}{10000} \times 100\ \% = \pm 0.01\ \%$$

sem er talsvert betra en ± 1 % óvissan sem fram kemur við beina tíðnimælingu

Stafrænn tíðnimælir



(a) Digital measurement of time period $T = (X \text{ pulses}) \times 1\ \mu\text{s} = X\ \mu\text{s}$

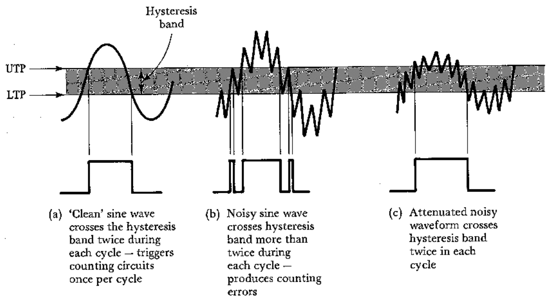
(b) Digital measurement of pulse width $\text{PW} = Y\ \mu\text{s}$

(c) Digital measurement of ratio of two frequencies $\frac{f_1}{f_2} = Z$

(d) Digital measurement of ratio of two close frequencies $\frac{f_1}{f_2} = \frac{n}{100}$

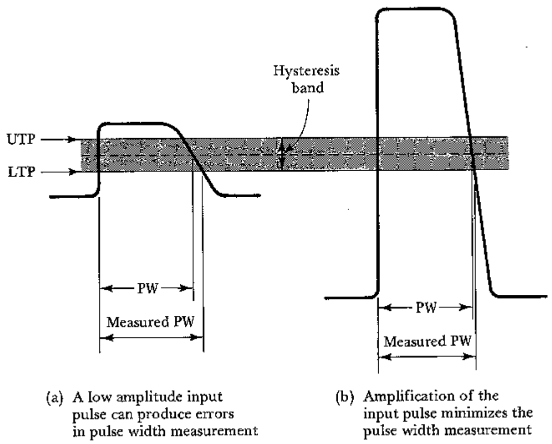
- Flesta stafræna tíðnimæla má nota til mælinga á
  - tíðni
  - lotu
  - púlsbreidd
  - tíðnihlutföllum merkja
- Flestir tíðnimælar hafa *start* og *stopp* innganga svo að mæla má tíma á milli atburða

Stafrænn tíðnimælir



- Inngangsstig tíðniteljara er magnara- eða deyfirás sem fæðir merkið inn á bylgjuaðlögunarrás sem venjulega notar Schmitt gikk
- Suðbroddar geta valdið rangri talningu.
- Ef mikið suð er í merkinu getur verið heppilegt að stilla deyfiliðinn þannig að merkið sem ræsir teljararásina sé sem lægst

Stafrænn tíðnimælir



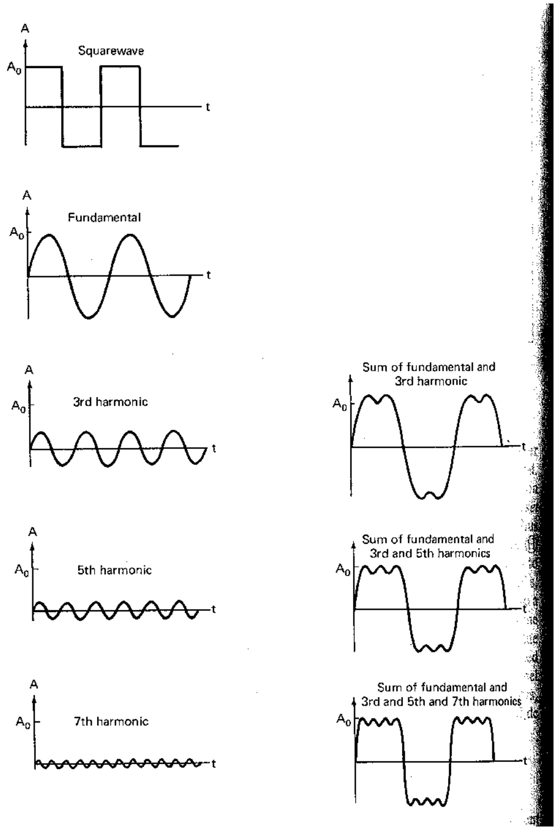
- Langir ris- og falltímar geta skapað óvissu í mælingu á púlsbreidd
- Með mögnun merkis má minnka óvissuna

$\Longrightarrow$ Dæmi 12.3.

Rófgreinar

- Sérhvert lotubundið bylgjuform má mynda með því að leggja saman tiltekinn hóp af sínusbylgjum eða þáttum.
- Þessir þættir eru nefndir **yfirtónar bylgjunnar** (e. harmonics)
- Útslag og tíðni þessara yfirtóna verður að hafa tiltekin gildi til að mynda megi tiltekið bylgjuform
- Stærðfræðin sem notuð er til að ákvarða útslag og tíðni þessara þátta er nefnd **Fourier greining** (Stærðfræðigreining IV)
- Dæmi um hvernig greina má kassabylgju (eða mynda kassabylgju) í yfirtóna er sýnd á myndinni

Rófgreinar



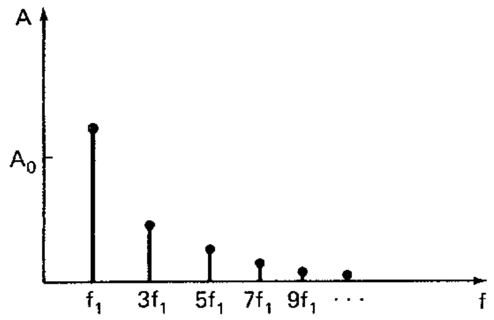
Rófgreinar

- Jafnan fyrir yfirtóna sem mynda kassabylgju með útslag +1 og horntíðni ω er gefin með

$$y = \frac{4}{\pi}\left(\sin\omega t + \frac{1}{3}\sin\omega t + \frac{1}{5}\sin 5\omega t + \cdots\right)$$

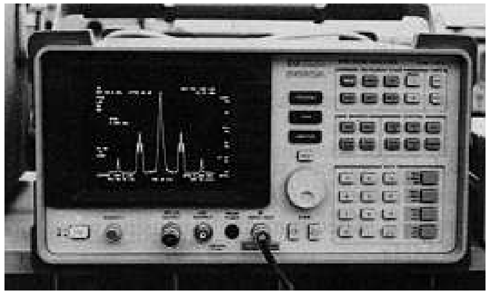
- Sömu aðferð má beita á hvaða lotubundið bylgjuform sem vera skal
- Þessi óendanlega röð yfirtóna er nefnd **Fourier röð** bylgjuformsins

Rófgreinar



- Tíðniþættirnir sem mynda Fourier röð bylgjuformsins eru nefndir **tíðniróf merkisins** (e. frequency spectrum)
- Þá er birt tíðni á $x-$ás og útslag á $y-$ás
- Að ofan sést tíðniróf kassabylgju

Rófgreinar

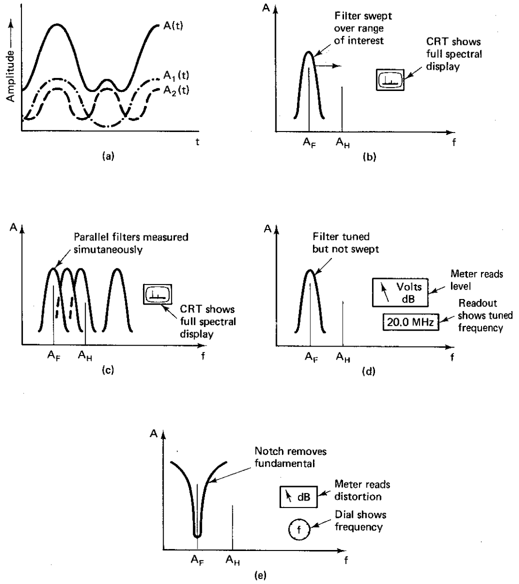


- **Tíðnirófsmælar** (e. spectrum analyzer) birta tíðniróf merkja
- Í tíðnirófsmæli er notuð sía sem hafnar öllu nema tiltekinni vel ákvarðaðri tíðni
- Miðjutíðni þessarar síu er breytt yfir tíðnisviðið sem skoða skal og tíðniþættir birtast á skjánum þá aðeins að þeir svari til síutíðninnar
- Styrkur tíðniþáttar er þá birtur á skjá bakskautslampa
- Þeir vinna gjarnan á tíðnisviðinu 5 Hz – 40 GHz

Rófgreinar

- **Fourier greinir** er líka tíðnirófsgreinir
- Þá er merkið sent inn á mikinn fjölda samsíða sía (allt að 2048)
- Þetta eru sérhæfðar stafrænar síur sem greina merkið samsíða í rauntíma
- Þeir vinna frá dc upp í 100 kHz
- Í **bylgjugreini** er notuð stillanleg sía sem stillt er handvirkt

Rófgreinar



- (a) Bylgjuform
- (b) Tíðnirófsgreinir
- (c) Fourier greinir
- (d) Bylgjugreinir
- (e) Bjögunar greinir

Bjögunar greinar

- **Bjögunar greinir** (e. distortion analyzer) mælir bjögun í merki
- Hve ólíkt útmerki, út af tilteknu tóli, er innmerkinu, er mælikvarði á bjögunina sem innleidd var af tólinu
- Þessa bjögun má mæla með bjögunarmæli
- Þegar magnari er ekki línulegur innleiðir hann bjögun. Bjögun vegna ólínuleika er nefnd bjögun yfirtóna (e. harmonic distortion)

Bjögunar greinar

- Heildar bjögun vegna yfirtóna (e. total harmonic distortion (THD)) er skilgreind sem

$$\mathrm{THD} = \frac{\sqrt{\sum(\text{yfirtónar})^2}}{\text{grunntónn}}$$

sem erfitt er að mæla og því oftar er notað sem

$$\mathrm{THD} = \frac{\sqrt{\sum(\text{yfirtónar})^2}}{\sqrt{\sum(\text{yfirtónar})^2 + (\text{grunntónn})^2}}$$

eða

$$\mathrm{THD} = \frac{\sqrt{E_2^2 + E_3^2 + \cdots + E_n^2}}{E_f}$$

þar sem E_i er útslag tiltekinna yfirtóna

$\Longrightarrow$ Dæmi 12.4.

Heimildir:

- Robert B. Northrop, *Introduction to Instrumentation and Measurements*, CRC Press, 1997, kafli 8.8
- Stanley Wolf and Richard F. M. Smith, *Student Reference Manual for Electronic Instrumantation Laboratories*, Prentice Hall, 1990, kafli 8
- David A. Bell, *Electronic Instrumentation and Measurements*, 2 ed., Prentice Hall, 1994, kafli 6.3 - 6.6